

文章编号:1007-2780(2017)06-0438-05

干拉法制备散射偏光片实验研究

王 宇¹, 李博颖¹, 裴伶会¹, 范志新^{1,2*}

(1. 河北工业大学 理学院, 天津 300401;

2. 深圳市三利谱光电科技股份有限公司, 广东 深圳 518107)

摘要: 散射偏光片是一种外观半透明略带雾度状态的新型光学功能薄膜材料。当自然光入射, 一半光透射, 一半光散射。这种散射偏光片在透明投影屏幕上具有应用前景, 但还没有实现产业化。本文采用干法拉伸聚乙烯醇掺杂液晶(PVA: LC)制备散射偏光片。首先, 配制聚乙烯醇掺杂液晶水溶液乳胶, 在平板玻璃上通过流延晾干成膜; 然后采用小型拉伸机, 边烘烤加热边拉伸至原长的 4 倍左右, 制备出散射偏光片样品; 最后, 通过实验测试得出样品的透光率 40%, 偏振度 57%。以样品作屏幕观察投影效果, 结果显示投影偏振光与样品透光轴正交背投影效果最好。本文对于实现散射偏光片的产业化研究具有重要参考意义。

关键词: 干拉法; 散射偏光片; PVA: LC; 透明投影屏幕

中图分类号: O433; O753.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173206.0438

Experimental research on preparation of scattering polarizer by dry stretching method

WANG Yu¹, LI Bo-ying¹, PEI Ling-hui¹, FAN Zhi-xin^{1,2*}

(1. School of Science, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Shenzhen Sunnypol Optoelectronics Co., Ltd. Shenzhen 518107, China)

Abstract: Scattering polarizer is a new type of translucent optical film which has a slight haze. When incident light is unpolarized, half of the light is transmitted, while the other is scattered. This scattering polarizer has application prospects on a transparent projection screen, but has not been industrialized yet. In this paper, the method of dry stretching polyvinyl alcohol doped liquid crystal (PVA: LC) was used to prepare scattering polarizer. First, we prepared polyvinyl alcohol doped liquid crystal aqueous emulsion, flowed on flat glass and then dried to form a film. Then, we baked and stretched to about 4 times length with a small stretching machine, in order to get scattered polarizer samples. Finally, experimental results show that the transmittance of the sample is 40%, and the polarization efficiency is 57%. Using the sample as a screen to observe the projection effect, results show that rear projection of polarized light perpendicular to optical axis is the best. This paper is of reference significance.

收稿日期: 2017-01-18; **修订日期:** 2017-02-13.

基金项目: 国家自然科学基金(No.60878047, No.11147103); 河北省高等学校科学技术研究指导项目(No.Z2011133)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.60878047, No.11147103); Science and technology Research Project of Hebei Province University(No.Z2011133)

* 通信联系人, E-mail: fanzhixin1155@163.com

cance for the realization of the industrialization of the scattering polarizer.

Key words: dry stretching method; scattering polarizer; PVA : LC; transparent projection screen

1 引言

散射偏光片是一种新型光学功能薄膜材料,具有透光轴,自然光入射,一半光透射,一半光散射。散射偏光片的制备方式是将聚合物分散液晶(PDLC)膜单一方向拉伸,使液晶微滴形状变化致使液晶分子取向,形成折射率各向异性的分散相液晶膜。通过设计聚合物和液晶折射率的匹配,使液晶在一个偏振方向上的折射率与聚合物折射率相同,对偏振光而言是同种介质,光透射;而在另一个正交的方向折射率不相同,对偏振光而言是不同介质,光散射。散射偏光片可用作透明投影屏幕,与单片式 LCD 投影机或 LCOS 投影机技术配合使用。投影机投射出的光是偏振光,偏振方向与散射偏光片透光轴成正交,透射光全部合理应用,发生散射,在较亮环境下背投成像很清晰^[1-9]。在光利用率上,散射偏振片用投影屏幕有着其它投影屏幕无法比拟的优势,其它透明投影屏幕,光利用率较低,透明好,成像就差,成像好,透明性就差。例如全息膜投影屏幕,即使当偏振投影光入射,也总是有部分光透过浪费掉,光不能得到充分利用。

聚乙烯醇是制造吸收偏光片的原材料,也是制备散射偏光片的原材料。聚合物分散液晶是聚合物与液晶比例相当,液晶被聚合物包裹分散形成液晶微滴;聚合物网络液晶是聚合物比例远小于液晶含量,聚合物形成网络分散在液晶中^[10]。采用聚乙烯醇分散液晶制备散射偏光片,液晶含量高则制品透明性差,为提高制品的透光率宜适当降低液晶含量,使聚乙烯醇含量远高于液晶含量,因此适合称为聚乙烯醇掺杂液晶(PVA : LC)。散射偏光片的制备方法有很多,例如剪切聚合物分散液晶偏光片,定向电纺液晶偏光片等,但是上述方法只适宜做小面积样品,而本文采用的拉伸聚乙烯醇掺杂液晶制造散射偏光片是最可能实现散射偏光片产业化的制造方法。该制造方法工艺简单、易操作。

制备吸收偏光片的工艺上主要有两种方法分别为湿法和干法。湿法是将聚乙烯醇流延膜在温

水中先染色再拉伸制成吸收偏光片,而干法是将流延膜先拉伸后染色制成吸收偏光片。但对于聚乙烯醇掺杂液晶(PVA : LC)流延膜,目前湿法拉伸所制备的聚乙烯醇掺杂液晶薄膜透光率及偏振度不理想,光学性能较差,猜想是由于采用的是制造偏振片的 PVA 原料边角料,经重新溶化掺入液晶再流延成膜的过程中可能造成交联剂的损失,从而影响膜的黏度等性能,对此还在进一步的研制中。而本文采取的干法拉伸却先取得了初步的成功。

2 样品制备

样品制备实验中使用的液晶材料是制作电控调光膜(PDLC)所采用的大双折射率差的向列相液晶($n_o \approx 1.5$, $n_e \approx 1.7$)。聚乙烯醇($n_p = 1.49 \sim 1.51$)是用于制作吸收偏振片的高温聚乙烯醇膜边角料,醇解度 99% 以上,聚合度 3 000 以上。在室温下,配制乳胶,混合液容器中,液晶在聚乙烯醇粉末中含量 7%、聚乙烯醇粉末在水溶液中含量 7%。将混合液放在鼓风干燥箱中加热,将温度调至 99 °C,加热约 5~6 h,待全部成溶液后放置在搅拌器下搅拌约 10 min,溶液由混浊态变为乳白色,然后放置 2 d 进行排气以消除气泡。

在室温条件下,制作流延膜,把平板玻璃四边用玻璃条黏结成玻璃盘,将玻璃盘平铺在水平地面上。将适量聚乙烯醇掺杂液晶乳胶溶液倒在玻璃盘上使其自然流淌充满整个玻璃盘,经 1 d 时间干燥成膜,揭下成膜。在液晶浓度一定的条件下,所成的膜越薄,透明度等相关光学性能越良好,膜太薄易裂难从玻璃板揭下,太厚则透光率差,控制使流延膜厚度在 60~90 μm 之间,拉伸后膜厚度 20~40 μm 的膜透明度与偏振度较好。

制作拉伸膜,通过小型简易拉伸机对流延膜做单向拉伸制备散光偏振光膜。将流延膜固定拉伸机上,在电加热器旁进行加热至约 60 °C 以上,人工拉伸约 4 倍。膜拉伸前后如图 1 所示。

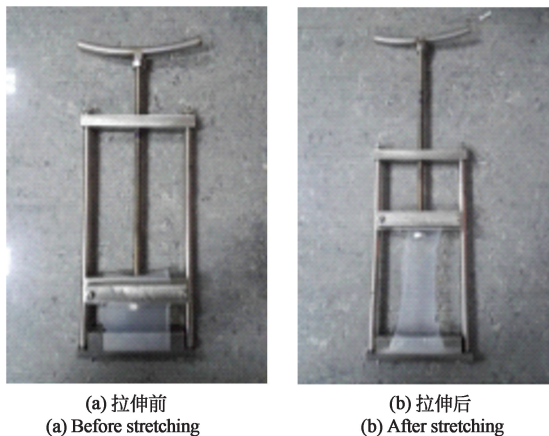


图 1 拉伸前后对比图

Fig.1 Stretching contrast diagram

3 实 验

用样品做以下几个实验,分别观察透过样品观看液晶显示屏的效果,如图 2 所示,当散射偏光片透光轴与液晶显示屏吸收偏光片透光轴平行时,图片比较清楚;当透光轴正交时,图片比较散射。观察在偏光显微镜下的液晶织构,如图 3 所示,没有拉伸前织构是液晶微滴呈圆

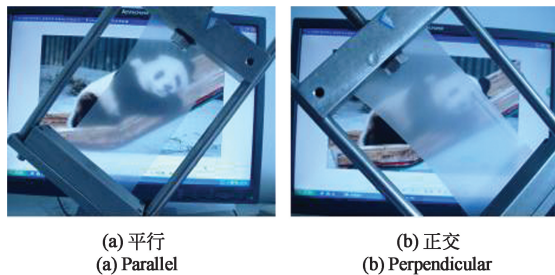


图 2 透过样品观看液晶显示屏

Fig.2 Watching the LCD screen through the sample

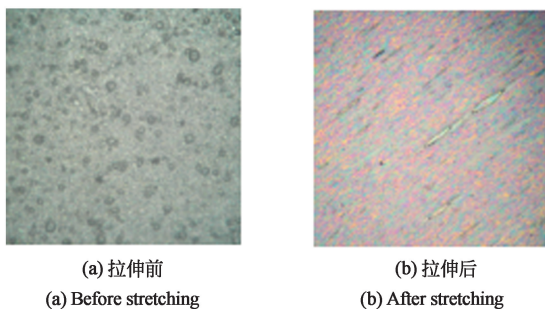


图 3 拉伸前后样品的偏光显微镜照片(200×)

Fig.3 Polarizing microscope photos of the sample(200×)

球形状;拉伸后织构液晶微滴呈长条形状。用分光光度计上测试样品透光率和偏振度,如图 4 所示,曲线 T 是自然光透光率,曲线 T_P 是偏振光与透光轴平行透光率,曲线 T_S 是偏振光与透光轴正交透光率。以样品作屏幕观察投影效果,如图 5 所示,图 5-(a)是投影偏振光与透光轴平行正投影效果,图 5-(b)是投影偏振光与透光轴正交正投影效果,图 5-(c)是投影偏振光与透光轴正交背投影效果,图 5-(d)是投影偏振光与透光轴平行背投影效果。

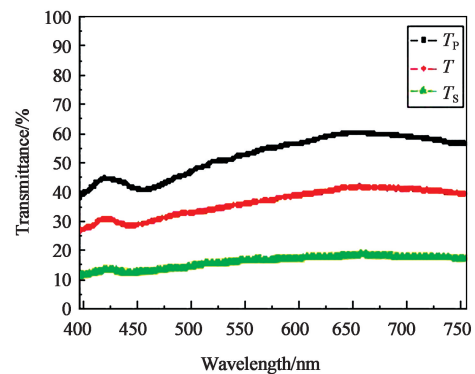


图 4 样品光谱曲线

Fig.4 Spectral curve of the sample

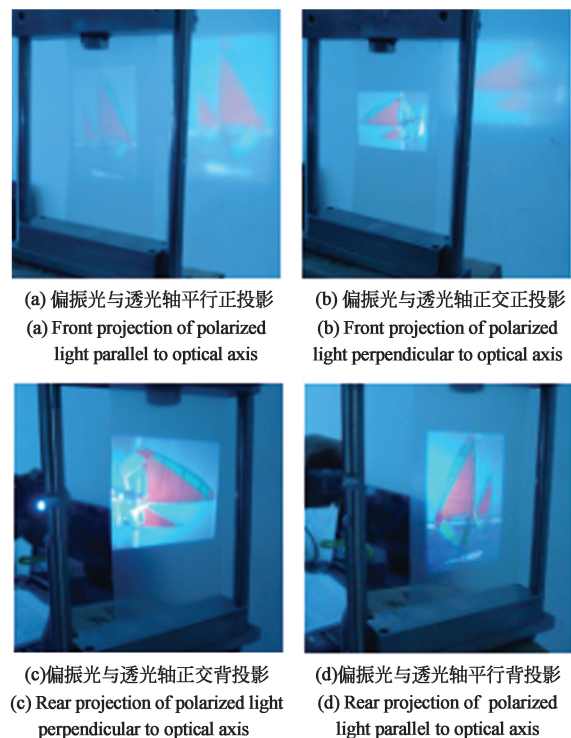


图 5 样品投影效果

Fig.5 Effect of projection of the sample

4 分 析

由图2可见,散射偏光片样品外观上呈现为具有一定雾度的半透明膜,其透光轴在垂直于拉伸方向上。液晶显示器上有吸收偏光片,当散射偏光片样品与吸收偏光片光轴平行时,屏幕上图片看着比较清楚;而散射偏光片样品与吸收偏光片光轴正交时,屏幕上图片看着比较模糊,但并没有完全遮住,说明样品偏振度还不够高。

由图3可见,偏光显微镜织构显示出,聚乙烯醇掺杂液晶膜拉伸前液晶微滴呈微球形状,拉伸后液晶微滴呈长条形状。拉伸使液晶微滴变长条形状就使得液晶有取向,使样品有双折射各向异性性质,垂直拉伸方向液晶的折射率与聚乙烯醇折射率相近,该方向偏振光透射;平行于拉伸方向液晶折射率与聚乙烯醇折射率相差比较大,该方向偏振光散射。样品中液晶微滴分布很不均匀,微滴大小也很不均匀。

由图4可见,样品可见光透光率不够高,红光(650 nm)透光率最高,约40%;绿光(550 nm)透光率约35%;而蓝光(480 nm)透光率比较低,仅30%左右。样品的偏振度还不高,绿光(550 nm)处,偏振 $P = (T_p - T_s) / (T_p + T_s) \approx (55 - 15) / (55 + 15) = 57\%$ 。图4中,自然光透光率与偏振光透光率的关系是: $T = (T_p + T_s) / 2$,原因是在测试偏振光透光率时光源测试光路和参比光路都加了吸收偏光片起偏,偏振光100%化。

在图5中,投影机是单片硅上液晶(LCOS)投影机,投影光是水平完全偏振光。图5(a)是投影偏振光与散射偏光片样品透光轴平行,正投影散射偏光片屏幕上图像不很清晰,透射过去的图像在屏幕后方的墙上比较清晰。图5(b)

是投影偏振光与散射偏光片样品透光轴正交,正投影散射偏光片屏幕上图像比图5(a)清晰,透射过去的图像在屏幕后方的墙上的比图5(a)更模糊。图5(c)是投影偏振光与散射偏光片样品透光轴正交,背投影散射偏光片屏幕上图像最清晰。图5(d)是投影偏振光与散射偏光片样品透光轴平行,背投影散射偏光片屏幕上图像不如图5(c)清晰明亮。图5(a)(正投)、5(d)(背投)分别为偏振光与偏振片透光轴平行,大部分的光透射,光利用率低,投影屏幕成像很显然没有和其相对应的偏振光与偏振片透光轴正交时图5(b)(正投)、5(c)(背投)的屏幕投影效果好。又由图5(a)与图5(d)和图5(b)与图5(c)对比发现前散射率大于后散射率,所以背投效果比正投效果更佳,由上面可以分析出正交背投的光利用率最高,投影屏幕效果最好。且膜的光学性能(主要指透光率与偏振度)越好则膜的光学利用率越高,投影效果越好。膜的质量决定着偏振片的光学性能,目前样品中气泡还比较多,影响膜的质量,需要进一步调试实验进行改进提高膜的透光率和偏振度,并且对湿法拉伸进行研制。

5 结 论

采用干法拉伸技术制备出聚乙烯醇掺杂液晶散射偏光片样品,外观是有雾度的半透明膜,透光轴在垂直拉伸方向上。样品透光率40%,偏振度57%左右,透光率和偏振度还不够高。用样品当作透明投影屏幕,有一定的效果,正交背投影效果最好。实验有待于进一步优化,以便制备出光学性能更优(更高透光率、更高偏振度)的样品。

参 考 文 献:

- [1] AMIMORI I, PRIEZJEV N V, PELCOVITS R A, *et al.* Optomechanical properties of stretched polymer dispersed liquid crystal films for scattering polarizer applications [J]. *Journal of Applied Physics*, 2003, 93(6): 3248-3251.
 - [2] WHITEHEAD J B Jr, ZUMER S, DOANE W. Light transmission and scattering of polymer dispersed liquid crystals [C]//*Proceedings of SPIE 1080, Liquid Crystal Chemistry, Physics, and Applications*. Los Angeles, CA: SPIE, 1989: 250-257.
 - [3] 任洪文,宣丽,闫石,等.光散射液晶偏振片电光特性的研究[J].*液晶与显示*, 2000, 15(3): 178-184.
- REN H W, XUAN L, YAN S, *et al.* Electro-optical properties of light scattering liquid crystal polarizer [J]. *Chi-*

- nese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2000, 15(3): 178-184. (in Chinese)
- [4] 任洪文, 凌志华, 朱希玲, 等. 聚合物网络稳定液晶的电光偏振片[J]. 光学学报, 2000, 20(4): 548-552.
REN H W, LING Z H, ZHU X L, *et al.* An optoelectric polarizer by polymer network stabilized liquid crystals [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, 20(4): 548-552. (in Chinese)
- [5] 韩国志, 邵晔, 徐华, 等. 基于定向电纺纤维膜的可调制偏振片的制备[J]. 高等学校化学学报, 2009, 30(1): 185-190.
HAN G Z, SHAO Y, XU H, *et al.* Preparation of photo-tunable polarizer based on ordered electrospun nano-fiber membrane [J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 2009, 30(1): 185-190. (in Chinese)
- [6] 范志新, 韦卫星, 何燕和. 剪切聚合物分散液晶散射偏光特性[J]. 光学技术, 2011, 37(1): 71-75.
FAN Z X, WEI W X, HE Y H. Scattering polarization properties of sheared polymer dispersed liquid crystal [J]. *Optical Technique*, 2011, 37(1): 71-75. (in Chinese)
- [7] 范志新, 郑永磊, 刘洋, 等. 应变液晶散射偏光片的试制[J]. 光学技术, 2012, 38(4): 473-476.
FAN Z X, ZHENG Y L, LIU Y, *et al.* Preparation of stressed liquid crystal scattering polarizer [J]. *Optical Technique*, 2012, 38(4): 473-476. (in Chinese)
- [8] 范志新, 高攀. 剪切液晶散射偏光玻璃的研制与应用[J]. 光学技术, 2014, 40(4): 367-370.
FAN Z X, GAO P. Preparation and application of sheared liquid crystal scattering polarizer glass [J]. *Optical Technique*, 2014, 40(4): 367-370. (in Chinese)
- [9] 高攀, 张亚龙, 刘晓梦, 等. 散射偏光玻璃屏幕——引领透明投影屏幕新技术革命[J]. 现代显示, 2013(6): 49-51.
GAO P, ZHANG Y L, LIU X M, *et al.* Scattering polarizer glass screen leading the new technical revolution of transmitting projection screen [J]. *Advanced Display*, 2013(6): 49-51. (in Chinese)
- [10] 丁兰, 裴伶会, 范志新. 剪切液晶散射偏光玻璃的视角特性[J]. 液晶与显示, 2015, 30(6): 937-942.
DING L, PEI L H, FAN Z X. Viewing angle characteristic of sheared liquid crystal scattering polarization glass [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(6): 937-942. (in Chinese)

作者简介:王宇(1990—), 女, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事液晶器件物理研究。

李博颖(1992—), 女, 河北张家口人, 硕士研究生, 主要从事液晶器件物理研究。

裴伶会(1990—), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事液晶器件物理研究。

范志新(1960—), 吉林人, 博士, 教授, 从事液晶器件物理教学与实验研究, 深圳市三利谱光电科技股份有限公司特聘技术专家。E-mail: fanzhixin1155@163.com