

文章编号:1007-2780(2022)07-0825-07

偏振片偏振化方向的确定及在液晶显示中的检验

郭澳运, 金淋浩, 吕占钊, 郭佳骏, 何子清, 刘 裕, 常春蕊*
(华北理工大学 理学院, 河北 唐山 063210)

摘要:偏振片是一重要的光学器件,通常实验室所用偏振片的偏振化方向未知。为了得到精确的偏振片的偏振化方向,提出了一种基于布儒斯特定律测定偏振片偏振化方向的方法,并将已测定偏振化方向的偏振片置于液晶光电测试系统的光路中,测得透光量随偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化关系。实验结果表明:偏振片偏振化方向和液晶盒前摩擦取向方向夹角为 45° 时,透光量达到最大,并以此角测试了透光量随施加电压、时间的变化且给予了理论分析,验证了基于布儒斯特定律可以精确测定偏振片的偏振化方向,从而依据此研究,搭建了一个物理实验光路来测定未知偏振片的偏振化方向,并通过已知的光电测试系统给予验证,便于偏振片在需要精确测定其偏振化方向的领域得到更好的应用。

关键词:偏振片;偏振化方向;布儒斯特定律;光电测试系统;透光量

中图分类号:O59;O734⁺.2 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2022-0056

Determination of polarization direction of polarizer and its test in liquid crystal display

GUO Ao-yun, JIN Lin-hao, LÜ Zhan-zhao, GUO Jia-jun, HE Zi-qing, LIU Yu, CHANG Chun-rui*

(College of Science, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: Polarizer is an important optical device. Generally, the polarization direction of polarizer used in laboratory is unknown. In order to obtain the accurate polarization direction of the polarizer, a method for measuring the polarization direction of the polarizer based on Brewster's law is proposed. The polarizer with the measured polarization direction is placed in the optical path of the liquid crystal photoelectric test system, and the variation of the light transmission with the angle between the polarization direction of the polarizer and the front friction orientation direction of the liquid crystal cell is measured. The experimental results show that when the included angle between the polarization direction of the polarizer and the front friction orientation direction of the liquid crystal cell is 45° , the light transmission reaches the maximum. At this angle, the change of the light transmission with the applied voltage and time is tested and analyzed theoretically. It is verified that the polarization direction of the polarizer can be accurately measured based

收稿日期:2022-02-16;**修订日期:**2022-03-26.

基金项目:河北省自然科学基金(No. A2021209005);河北省教育厅项目(No. QN2021118);华北理工大学大学生创新项目(No. X2021185)

Supported by Natural Science Foundation of Hebei Province(No. A2021209005);Project of Hebei Provincial Department of Education(No. QN2021118);Innovation Program for College Students of North China University of Science and Technology(No. X2021185)

*通信联系人, E-mail:changchunrui@ncst.edu.cn

on Brewster's law. Then a physical experimental optical path is built to measure the polarization direction of the unknown polarizer, which is verified by the known photoelectric test system, so that the polarizer can be better applied in the field where the polarization direction needs to be accurately measured.

Key words: polarizer; polarization direction; brewster's law; photoelectric test system; light transmittance

1 引言

偏振片作为一种偏振器件,有着独特的特征结构,并且是可以使自然光变成偏振光的重要光学器件^[1]。偏振片在生活、电子、医学、光学等领域都有着广泛的应用。在生活中,偏振片作为照相机的滤光镜,可滤掉不必要的反射光,并且偏振片可制成 3D 眼镜,用于观看立体电影^[2];在电子领域中,以偏振片为必要构件之一的液晶显示器应用广泛^[3],可用于手机、电脑、电视机等电子产品^[4-5];在医学领域中,经偏振片产生的偏振光能够为人们提供良好的医疗服务,如角膜和青光眼诊疗、中风后肩手综合症治疗、细胞热损伤检测等^[6-7],推动了医学领域科技的进一步发展;在光学领域中,偏振片作为常见的光学器件,在光学仪器中更是必不可少,如用作起偏器和检偏器、用于旋光分析、用于动感教学演示板和动感艺术灯箱画的制作等^[8]。

偏振特性是光的重要性质之一,很多重要的光学现象都与光的偏振特性有关^[9]。偏振片为人们所熟知,然而其偏振化方向却常常是未知的。偏振化方向是偏振片的一个重要参数,偏振片只允许平行于偏振化方向的偏振光通过,同时吸收垂直于偏振化方向的偏振光。在液晶光电测试系统中,偏振片的偏振化方向与液晶盒中前摩擦取向方向之间的夹角对液晶光电响应情况(透光量)影响很大。因此,在对液晶光电响应的研究中测定偏振片的未知偏振化方向是很有必要的。

已有文献报道测定偏振片偏振化方向的方法主要是基于布儒斯特定律产生偏振光,再基于偏振片的透光特性测定偏振片的偏振化方向。该测定方法操作简便,对实验器材的需求也很小。然而,其所测量的结果太过粗糙^[10],为了更精确地选用和调整偏振片,需要对所测定的偏振化方向进行检验和细致测定。本文首先基于布儒斯特定律测定偏振片的偏振化方向,再基于液晶显示的光电测试系统测定透光量随所测前偏

振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化关系,从而结合理论分析检验所测偏振片的偏振化方向并给出精确判断,进而测试在某一特定角度下透光量随施加电压、时间的变化规律^[11-13]。

2 理论基础

2.1 测定偏振片偏振化方向的理论基础

测定偏振片偏振化方向的理论基础为布儒斯特定律。如图 1 所示,当自然光 S 以布儒斯特角为入射角 i 从介质 a (折射率为 n_1) 射入介质 b (折射率为 n_2) 时,反射光为完全线偏振光,它的电矢量振动方向垂直于入射面,且折射光线与反射光线互相垂直。此时,入射角 i 满足:

$$\tan i = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

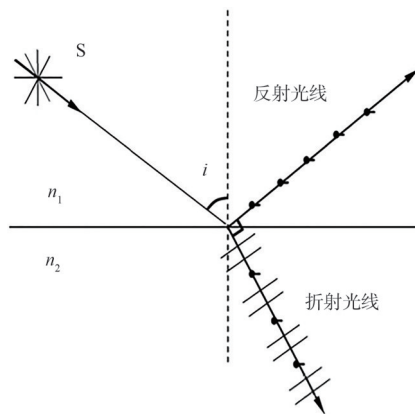


图 1 布儒斯特定律

Fig. 1 Brewster's law

2.2 透光量变化的理论基础

透光量变化的理论基础为偏振光的干涉原理^[14-15],其示意图如图 2 所示,自然光 I_0 经前偏振片变为线偏振光 I_1 ,入射至液晶盒中的液晶层,光在液晶层中发生双折射,分为两束光。一束光的振动方向垂直于光轴(x 轴点划线为光轴方向),

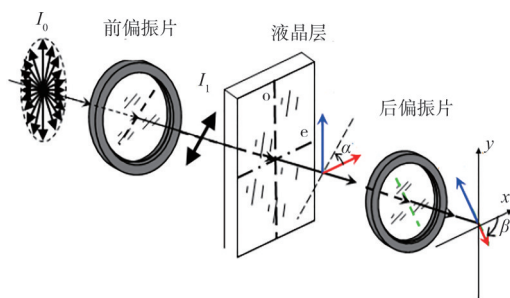


图2 偏振光的干涉原理

Fig. 2 Interference principle of polarized light

遵循折射定律,称为寻常光,即为o光,另一束光的振动方向平行于光轴,不遵循折射定律,称为非常光,即为e光。这两束光的电矢量相互垂直,属于不相干光,再经过后偏振片,从其中透射出的光波分别投影在与光轴成 β 角的偏振方向上,电矢量相互平行,属于相干光,并进行干涉,其透光量(出射光强)可表示为:

$$I = \frac{I_0}{4} (1 + \cos \Delta\varphi) \sin^2(2\alpha), \quad (2)$$

式中, α 为前偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向(光轴)方向的夹角, $\Delta\varphi$ 为光在光路系统中产生的总的相位差。

令系数 K 满足:

$$K = \frac{I_0}{4} (1 + \cos \Delta\varphi). \quad (3)$$

可见,出射光强在前面系数 K 一定时只取决于前偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向的夹角 α ,且当 α 为 45° 时,透光量达到最大。

3 实 验

3.1 实验材料与设备

3.1.1 实验材料

实验材料主要包括三棱镜、两个偏振片(偏振化方向未知)、4根小木棍(牙签)、平行液晶盒(上下取向层的摩擦取向方向平行且光轴方向已知)。

3.1.2 实验设备

实验设备主要包括样品台、He-Ne激光器、分光计、光功率计、信号发生器、光电管、数字示波器。

3.2 偏振片偏振化方向的测定与检验

3.2.1 偏振化方向的测定

首先,基于图3三棱镜折射率的测定,确定布

儒斯特角的大致范围。将三棱镜固定在木板上,在光源侧,放置两根足够细且距离较远的木棍,基于光沿直线传播的原理,使其完全遮挡入射光线从而判断入射角 i_1 ;然后,在三棱镜折射面,放置第三根足够细的木棍,根据光的可逆性,使其透过三棱镜完全遮挡前面两根木棍;最后,再插入第四根离第三根木棍有一定距离的细木棍,使其透过三棱镜完全遮挡前面3根木棍从而判断折射角 i_2 。由折射定律,有:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2. \quad (4)$$

由公式(1)与公式(4)得到布儒斯特角 i 满足:

$$i = \arctan \frac{\sin i_1}{\sin i_2}. \quad (5)$$

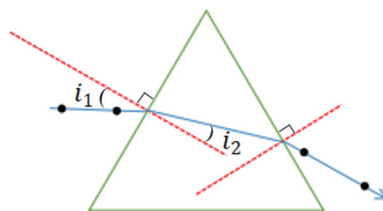


图3 三棱镜折射率的测定

Fig. 3 Measurement of refractive index of triangular prism

然后,基于图4偏振片偏振化方向的测定光路,在上述初测的布儒斯特角范围内,以 $5'$ 为单位改变入射角的角度,通过调整分光计样品台上三棱镜的入射光学表面,根据以布儒斯特角入射时反射光为振动方向垂直于入射面的完全线偏振光的特点,使反射光通过偏振片,并旋转偏振

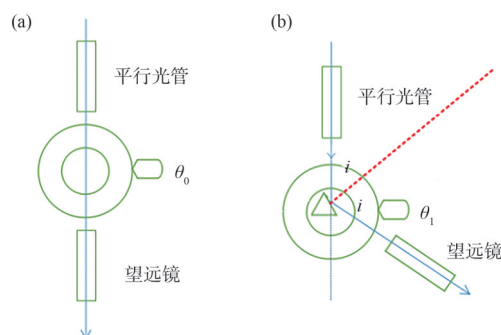


图4 偏振片偏振化方向的测定光路。(a)分光计水平调整位置;(b)分光计所测消光位置。

Fig. 4 Optical path for measuring polarization direction of polarizer. (a) Horizontal adjustment position of the spectrometer; (b) Measured extinction position of the spectrometer.

片,以分光计望远镜接收反射光,记录消光位置 θ_1 ,并以公式(6)计算布儒斯特角 i 。

$$|\theta_1 - \theta_0| = 180^\circ - 2i,$$

(6)

式中, θ_0 为调整分光计载物台水平、平行光管与望远镜水平的位置。

3. 2. 2 偏振化方向的检验

基于图 5 所示的搭建的光电测试系统,对所测偏振片的偏振化方向进行检验。其中,前后偏振片的偏振化方向正交,由激光管出射的激光依次正入射至前偏振片、液晶片、后偏振片,经光电管将透射光强转换为电信号,并经示波器显示输出的电信号,输出电信号将反应透射光强的变化。

检验时,选择频率为 1 kHz、电压峰峰值为 2 V 的方波信号,调整前偏振片的偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向的夹角,考查输出电信号的变化,进而结合理论考查出射光强随该夹角的变化规律;并以最佳角度,分别选择高频 1 kHz 和低频 1 Hz 的输入信号,考查透光量随电压、时间的变化,以分别对液晶的电压响应和动态响应进行评估,从而验证所测偏振片偏振化方向的可靠性。

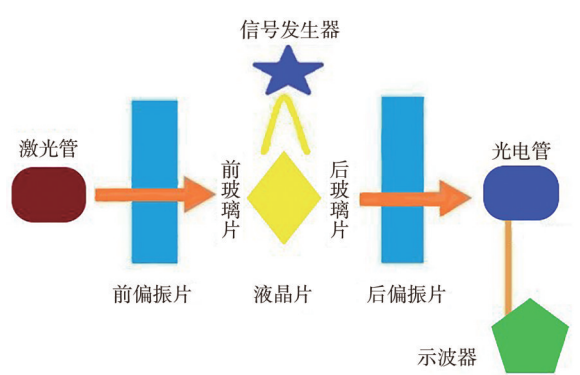


图 5 光电测试系统
Fig. 5 Photoelectric test system

4 结果与讨论

4. 1 布儒斯特角的范围初测与偏振片偏振化方向的测定

4. 1. 1 布儒斯特角的范围初测

经木棍法测得在三棱镜光学表面处发生折射的入射角 i_1 与折射角 i_2 ,分别测量 3 次,并由公式(5)计算布儒斯特角,列于表 1 中,由此取得布儒斯特角的范围为 $56^\circ \sim 57^\circ$ 。

表 1 布儒斯特角范围

Tab. 1 Brewster angle range

入射角 $i_1/(^\circ)$	折射角 $i_2/(^\circ)$	$i/(^\circ)$
30	19.5	56.30
35	22	56.83
38	24	56.49

4. 1. 2 偏振片偏振化方向的测定

基于图 4 偏振片偏振化方向的测定光路,在上述初测的布儒斯特角范围内,以 $10'$ 为单位改变望远镜位置,并旋转三棱镜、接收反射光,再放置和旋转偏振片、观察光强最大与消光现象,测得所测偏振片的偏振化方向,列于表 2。同时根据分光计所读 θ_0 与 θ_1 的值,公式(6)给出了布儒斯特角的确定值为 $56^\circ 45'$ 。

表 2 前偏振片和后偏振片的偏振化方向

Tab. 2 Polarization direction of front and rear polarizers

	消光对应角度/ $(^\circ)$	最大光强对应角度/ $(^\circ)$
前偏振片	71	161
后偏振片	1	91

由此,基于布儒斯特定律获知了所测偏振片的偏振化方向,进而可通过考查出射光强随前偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化,对所测结果的可靠性进行检验。

4. 2 透光量随偏振片旋转角度的变化

经图 5 所示的光电测试系统,通过旋转偏振片,测得反映出射光强大小的示波器所示信号强度随前偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化关系曲线,如图 6 所示;为进一步确定透光量最大与最小时对应的夹角值,分别对夹角范围 $40^\circ \sim 50^\circ$ 与 $85^\circ \sim 95^\circ$ 之间以间隔为 1° 进行细致化实验,所得透光量随夹角的细致变化关系曲线,如图 7 所示。可见,在夹角为 45° 时透光量达到最大值,而夹角为 90° 时透光量为最小值,与式(2)的理论计算结果相一致,同时也检验了基于布儒斯特定律所测偏振片偏振化方向的可靠性。

需要说明本实验并未施加电压,而电压会改变液晶分子取向,从而影响透光量。下面分别从透光量随施加电压和时间变化的角度,解读最佳角度 45° 对液晶显示性能评估影响的重要性。

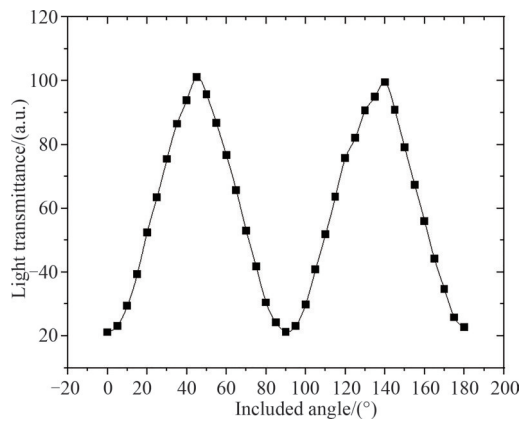


图 6 透光量随前偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化曲线

Fig. 6 Variation curve of transmittance with the angle between the polarization direction of the front polarizer and the front friction orientation of the liquid crystal cell

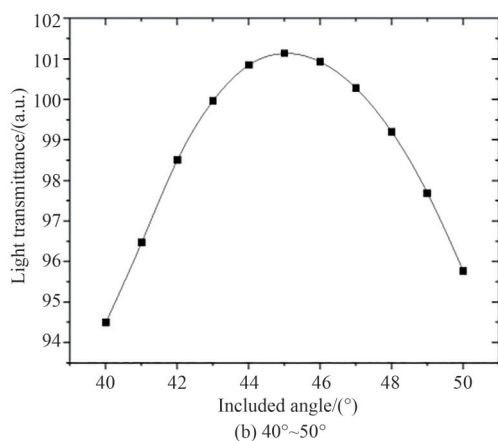
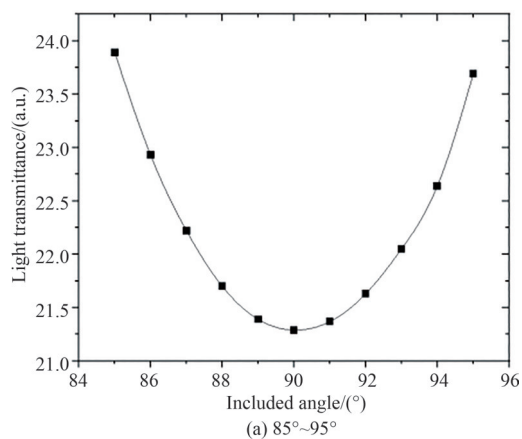


图 7 细致化实验曲线

Fig. 7 Detailed experimental curve

4.3 透光量随施加电压的变化

基于图 5 的光电测试系统,对比施加 2 V 电压与未加电压时透光量随偏振片偏振化方向与

液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化,如图 8 所示。可见,每同一夹角对应的透光量显著不同,且在 45°夹角时差异最大,而在 90°夹角时差异最小,意味着 45°夹角对应加与不加电压透光量的对比度最大。

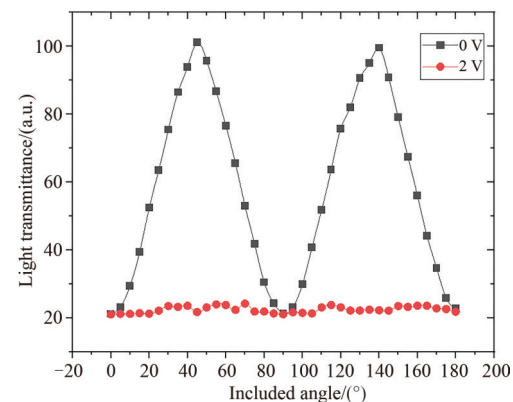


图 8 电压对透光量影响的变化曲线

Fig. 8 Variation curve of the effect of voltage on transmittance

进一步地,保持偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向间夹角成 45°,输入高频 1 kHz 方波信号,考查透光量随施加电压的变化,如图 9 所示。可见,液晶盒的出射光强变化存在一个临界电压,即阈值电压,达到阈值电压前透光量几乎不变,而超过阈值电压后透光量变小,最后达到一定电压值后透光量几乎不变,由此可以判断液晶分子在外场下发生偏转的阈值电压,而随电压变化透光量对比度越高时,越便于分析液晶分子对于外加电场的响应阈值情况。

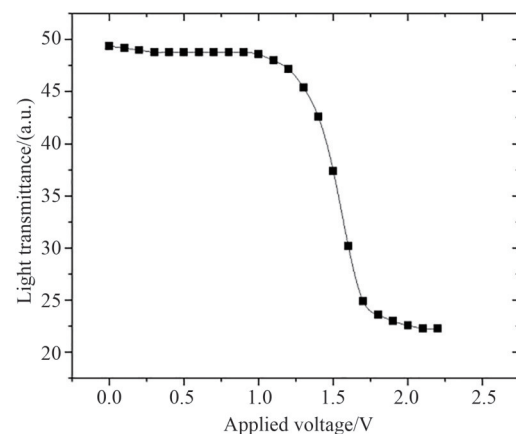


图 9 透光量随施加电压的变化曲线

Fig. 9 Variation curve of transmittance with the applied voltage

4.4 透光量随时间的变化

同样基于图 5 的光电测试系统并保持偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向间夹角分别为 0° 、 15° 、 30° 和 45° , 输入低频 1 Hz 的方波形脉冲信号, 考查透光量随时间的变化, 如图 10 所示。可见, 液晶分子在所施加信号电压下发生偏转需要一定时间, 以透光量-时间曲线可判断液晶分子在外场作用下发生偏转的响应时间(如图中虚线间隔); 并再次看到 45° 夹角时透光量随时间变化的对比度最大, 而 0° 夹角下很小的对比度差异将使得响应时间无法测出。因此, 在施加一个低频方波形脉冲信号考查液晶对于外场的动态响应时, 选取偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向间夹角成 45° , 可以获得对比度鲜明的动

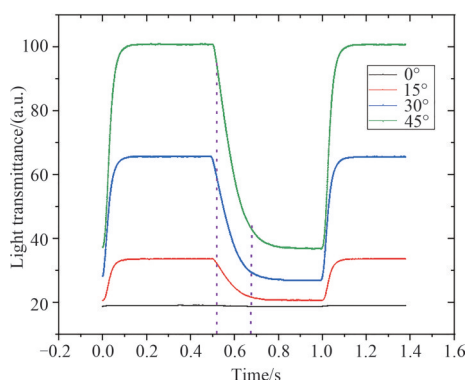


图 10 透光量随时间的变化曲线

Fig. 10 Variation curve of transmittance with the time

态响应, 便于分析液晶对于外场响应的偏转速度、弛豫时间、取向变化等信息, 也有利于降低光路系统中如光电转换器、示波器等元器件精度或不稳定因素带来的干扰。

5 结 论

本文主要基于布儒斯特定律测定了偏振片的偏振化方向, 并基于液晶光电测试系统, 通过透光量随偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向夹角的变化关系对所测偏振片的偏振化方向进行了检验, 且测试了透光量随施加电压和时间的变化。实验结果表明: 基于所测偏振片的偏振化方向, 调节它与液晶盒前摩擦取向方向夹角为 45° 时, 透光量达到最大, 符合理论, 检验了基于布儒斯特定律可以精确测定偏振片的偏振化方向。此外, 夹角为 45° 时透光量随电压、时间的变化可以很好地判断液晶分子在外场作用下发生偏转的阈值行为和动态响应。本研究对测定和检验偏振片的偏振化方向以及偏振片偏振化方向与液晶盒前摩擦取向方向间夹角对于液晶显示性能评估影响的重要性给予了理论解析与实验借鉴。

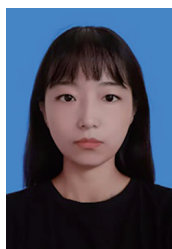
致谢: 感谢华北理工大学物理实验室中心张占新、胡鸿奎、王凤鸣老师为本实验提供的实验平台与大力支持。

参 考 文 献:

- [1] 韩景福. MD 投影机中的光学元器件(一)——偏振片与波片[J]. 现代显示, 2009(12): 5-9.
HAN J F. Optical parts in the MD projector(I)—polarizer and wave plate [J]. *Advanced Display*, 2009(12): 5-9. (in Chinese)
- [2] 徐清洪. 用 3D 眼镜片(偏振片)演示光的偏振[J]. 物理通报, 2012(3): 120-121.
XU Q H. Demonstrate the polarization of light with 3D glasses (Polarizer) [J]. *Physics Bulletin*, 2012(3): 120-121. (in Chinese)
- [3] KOO H S, KANG C M, KAWAI T. Study on physical properties of organic resist Spacers on color filters [C]// *Proceedings of 2007 Digest of Papers Microprocesses and Nanotechnology*. Kyoto: IEEE, 2007: 98-99.
- [4] 龚建勋, 刘正义, 邱万奇. 偏振片研究进展[J]. 液晶与显示, 2004, 19(4): 259-265.
GONG J X, LIU Z Y, QIU W Q. Research progress in polarizer [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2004, 19(4): 259-265. (in Chinese)
- [5] GE Z B, ZHU X Y, WU S T. 一种采用内部线栅偏振片的半透半反射式液晶显示器[J]. 王文根, 译. 现代显示, 2006, 13(10): 20-24.
GE Z B, ZHU X Y, WU S T. A transreflective liquid crystal display using an internal wire grid polarizer [J]. WANG W G, trans. *Advanced Display*, 2006, 13(10): 20-24. (in Chinese)

- [6] 弓中强. 偏振光的原理探究与其在医学领域的实际应用[J]. 广西物理, 2020, 41(3): 24-26.
GONG Z Q. Principle of polarized light and its practical application in medical field [J]. *Guangxi Physics*, 2020, 41(3): 24-26. (in Chinese)
- [7] 何琼. 眼针结合偏振光治疗中风后肩-手综合征临床观察[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2014.
HE Q. Clinical observation of eye acupuncture combined with polarized light in the treatment of shoulder hand syndrome after stroke [D]. Shenyang: Liaoning University of traditional Chinese Medicine, 2014. (in Chinese)
- [8] 谢书伟. 偏振片及其用途[J]. 感光材料, 1997(2): 44-46, 63.
XIE S W. Polarizer and its application [J]. *Photosensitive Material*, 1997(2): 44-46, 63. (in Chinese)
- [9] 鲍丽颖. 浅析偏振光的研究及应用[J]. 中国科技投资, 2012(33): 35.
BAO L Y. Research and application of polarized light [J]. *China Science and Technology Investment*, 2012(33): 35. (in Chinese)
- [10] 虞仲博, 武少文, 魏全香, 等. 偏振片偏振方向的测定[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2000, 33(1): 37-39.
YU Z B, WU S W, WEI Q X, *et al.* Experimental determination of the polarization direction of polaroid [J]. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2000, 33(1): 37-39. (in Chinese)
- [11] 王思齐, 孟颖, 高文莉, 等. 不同取向的向列型液晶盒的光电响应曲线[J]. 物理实验, 2012, 32(9): 12-17.
WANG S Q, MENG Y, GAO W L, *et al.* Transmission curve of twisted nematic liquid crystal cells with different alignment angles [J]. *Physics Experimentation*, 2012, 32(9): 12-17. (in Chinese)
- [12] 陈嘉琦, 傅晓, 苏为宁, 等. 向列型液晶盒的光电响应特性[J]. 物理实验, 2011, 31(9): 41-44.
CHEN J Q, FU X, SU W N, *et al.* Photoelectric effect of nematic liquid crystal box [J]. *Physics Experimentation*, 2011, 31(9): 41-44. (in Chinese)
- [13] 王庆凯, 吴杏华, 王殿元, 等. 扭曲向列相液晶电光效应的研究[J]. 物理实验, 2007, 27(12): 37-39.
WANG Q K, WU X H, WANG D Y, *et al.* Electro-optic effect of twisted nematic liquid crystal [J]. *Physics Experimentation*, 2007, 27(12): 37-39. (in Chinese)
- [14] 杜博皓, 林星雨, 王菁. 晶体电光效应实验中偏振光干涉原理的定量诠释[J]. 大学物理, 2021, 40(6): 82-85.
DU B H, LIN X Y, WANG J. Quantitatively demonstration of principle of polarized light interference in the experiment of crystal electro-optic effect [J]. *College Physics*, 2021, 40(6): 82-85. (in Chinese)
- [15] 郭婷婷. 通过光学导波方法研究向列相液晶E7在盒中的排列[D]. 天津: 河北工业大学, 2009.
GUO T T. Study of the alignment of nematic liquid crystal E7 in the cell by optical guided waves [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2009. (in Chinese)

作者简介:



郭澳运(1999—), 女, 河北易县人, 大学本科, 主要从事应用物理医学方面的研究。E-mail: guoaoyun1220@163.com



常春蕊(1982—), 女, 河北抚宁人, 博士, 副教授, 2011年于中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所获得博士学位, 主要从事碳纳米管的液晶行为及器件方面的研究。E-mail: changchunrui@ncst.edu.cn