

文章编号 1004-924X(2009)05-0964-05

# 延迟膜光谱分析测试系统及应用

沈奕<sup>1</sup>, 王勇竞<sup>2</sup>, 王琳静<sup>3</sup>, 姜言森<sup>4</sup>, 陈绍源<sup>1</sup>

(1. 汕头超声显示器有限公司 广东 汕头, 515041; 2. Display Photonics, Inc, 美国洛杉矶;  
3. 总装备部装备指挥技术学院, 北京 101416; 4. 汕头大学 物理系, 广东 汕头 515063)

**摘要:**介绍了一个测试延迟膜在不同波长下延迟量的方法。在测量晶体相位延迟量  $1/4 \lambda$  波片法的基础上, 用分光光度计代替其中的光源、滤色片以及光电探测器, 并且对样品进行了测试, 利用所得数据, 对样品的延迟量进行光谱分析。结果表明: 延迟膜的色散效应相对较小, 且由同种材料制作的具有不同延迟量的延迟膜其色散曲线极为相似。本实验得到的蓝光延迟量 = (1 - 3.5%) 绿光延迟量; 红光延迟量 = (1 + 2.6%) 绿光延迟量, 这为分析延迟膜的色散效应对彩色液晶显示所带来的影响提供了依据。由于此系统可忽略光强的波动及与光强有关的误差, 且  $1/4 \lambda$  波片对多波长测试误差的影响很小, 故其有很高的精度和可靠性, 可以测试其精度范围内的任意小延迟量, 亦可对其他光学相位延迟器件进行光谱分析。

**关键词:** 延迟膜; 光谱分析;  $1/4 \lambda$  波片

**中图分类号:** O484.5; TH741.1 **文献标识码:** A

## Measuring and analyzing system for retardation films at different wavelengths

SHEN Yi<sup>1</sup>, WANG Yong-jing<sup>2</sup>, WANG Lin-jing<sup>3</sup>, JIANG Yan-sen<sup>4</sup>, CHEN Shao-yuan<sup>1</sup>

(1. *Shantou Goworld Display Co., Ltd., Shantou 515041, China*; 2. *Display Photonics Inc., USA*;  
3. *Academy of Equipment Command and Technolog, Beijing 101416, China*;  
4. *Department of Physics, Shantou University, Shantou 515063, China*)

**Abstract:** A method to characterize the retardance of retardation films at different wavelengths was presented. Based on a  $1/4 \lambda$  wave-plate rotation method, the system used a spectrometer as the light source, color filters and a photodetector. Some samples were measured using the system, and the characteristic spectra of the retardation films were obtained by analysing the measurement data. The obtained spectral data show that the blue light retardation is (1 - 3.5%) that of the green retardation and the red light retardation is (1 + 2.6%) that of the green one. These results indicate that the dispersion effect of retardation films are not obvious, and the retardation characteristics of different retarders generated by the same material are almost the same, which would be useful to study how the color liquid crystal display is affected by dispersion effects of retardation films. Because the variation of the light source and other errors related to light intensity are not so critical for the measurement in

收稿日期: 2008-07-02; 修订日期: 2008-08-27.

基金项目: 2007年广东省省级挖潜改造资金重点产业技术创新项目

this system and some  $1/4\lambda$  wave-plates affect on the other wavelengths is very little, the retardance can be measured in high accuracy and high repeatability. In principles, the system accuracy can measure any retardance, and can be used in characteristic spectrum analysis of other phase retarders.

**Key words:** retardation film; spectral analysis;  $1/4 \lambda$  wave-plate

### 1 引 言

延迟膜可以实现各种偏振态之间的转换,偏振面的旋转,以及各类偏振光的调制,在光纤通信,光弹力学,光学精密测量,以及平板显示的补偿等领域有着广泛的应用,特别是在液晶显示的补偿方面,发挥着越来越重要的作用。例如,对被动矩阵垂直配向液晶显示器而言,在不加电场、光线斜入射的情况下,由于液晶分子与入射光存在一定的夹角,光通过液晶层时会产生一定的相位延迟,此时,采用延迟膜便可有效地补偿由斜入射引起的相位延迟,遏制斜视角漏光,从而改善液晶显示器的视角特性;另外,由于彩色液晶显示是通过 RGB 三基色的调制实现的,对于其所用延迟膜,不仅要精确测量其延迟量,还须对其进行光谱分析,得到其色散特性,才能进一步研究其对彩色液晶显示的影响。正是由于延迟膜在实际光学系统中的广泛应用,其延迟量的测量技术显得尤为重要。目前延迟量的测量有多种方法,如偏光干涉法,光强度测试法,  $1/4\lambda$  波片法等<sup>[1-8]</sup>。其中用  $1/4\lambda$  波片测量晶体相位差的方法,因其避开了光源起伏对测量精度的影响,将测试光强度转化为测试角度,有较高的测试精度,故应用广泛。本文在此系统的基础上,对其进行改进,使其可以测试连续波长下的延迟量,并测试样品,对所得数据进行了分析。

## 2 测试系统

### 2.1 系统搭建

$1/4 \lambda$  波片法测试系统结构如图 1 所示,测试样品和  $1/4 \lambda$  波片被夹在两片偏振片之间,经过校准的光线随机地射到样品上,样品和检偏器被放置在电动驱动旋转的平台上,光源将和某种滤色片搭配使用,用以测量某种波长光的延迟量,光电探测器用来探测经过系统后光的能量<sup>[8]</sup>。测试时用分光计代替光源,滤色片和光电探测器来测

试随波长变化的延迟量。 $1/4\lambda$  波片的快轴设置得严格平行于起偏器的光轴,他们都不需要再调整。

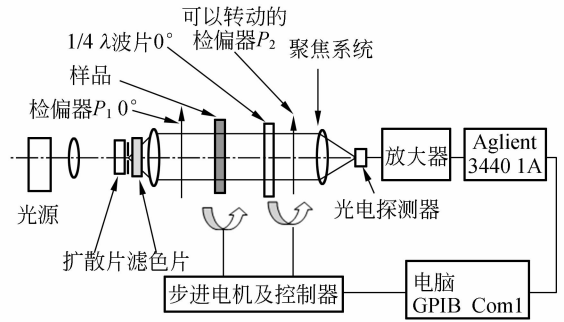


图 1 基于  $1/4 \lambda$  波片延迟量测试系统结构图  
Fig.1 Structure of system based on  $1/4 \lambda$  waveplate

### 2.2 测试原理

延迟片和偏振片的光轴,以及调整轴见图 2,输入光可以写成  $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ ,  $x$  轴沿  $P_1$  的方向,延迟膜

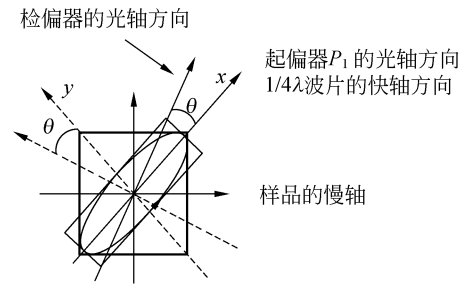


图 2 系统中各光轴方向示意图  
Fig.2 Optical axes of retarder, polarizers, and coordinate axis

的快轴与  $x$  轴成  $+45^\circ$ , 偏振光的传输由  $\Delta$  来决定<sup>[9]</sup>, 可以表示为:

$$\begin{pmatrix} \cos \frac{\Delta}{2} & -i \sin \frac{\Delta}{2} \\ -i \sin \frac{\Delta}{2} & \cos \frac{\Delta}{2} \end{pmatrix}, \text{ 此处 } \Delta = \frac{2\pi(n_e - n_o)d}{\lambda}.$$

快轴沿  $x$  轴方向的  $1/4 \lambda$  波片可以写成:  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$ ,

因此输出光可以由下式得到:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \frac{\Delta}{2} & -i \sin \frac{\Delta}{2} \\ -i \sin \frac{\Delta}{2} & \cos \frac{\Delta}{2} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \frac{\Delta}{2} \\ \sin \frac{\Delta}{2} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

很明显,输出光是一束与  $P_1$  成  $\Delta/2$  的线性偏振光,转动  $P_2$  角度  $\theta$ ,达到消光,则  $\theta$  等于  $\Delta/2$ ,因此,延迟量可以表示为:

$$(n_e - n_o)d = \frac{\lambda}{\pi} \theta. \quad (2)$$

### 2.3 测试方法

(1) 设置检偏器与起偏器成  $90^\circ$ 。

(2) 转动样品光轴(由所用激光束定义),直至输出光达到最小值。在此位置,光基本上都消失了,因此,可以达到较高的精确度。(以上步骤用来寻找样品光轴)

(3) 再将样品转动  $45^\circ$ ,然后固定样品。在  $0^\circ \sim 90^\circ$  转动检偏器,直到出现消光的位置。检偏器最后的方向与其最初的  $45^\circ$  方向所成的交角记为  $\theta$ 。

(4) 延迟量由公式  $\Delta = \frac{\lambda}{\pi} \theta$  得出。如果最后的方向在  $0^\circ$  与  $45^\circ$  之间,样品的慢轴平行于起偏器,如果最后的方向在  $45^\circ$  与  $90^\circ$  之间,样品的快轴平行于起偏器。

(5) 用分光计替换光电检测器后,转动检偏器,在每个位置测试光谱。

(6) 分析数据,找出每个波长光达到最小值的位置,不同波长的延迟量由不同波长对应的最小角度决定。

### 3 测试数据及分析

用此系统测试同种材料做成的具有不同延迟量的延迟膜,其中分光光度计设置在  $380 \sim 780$  nm 扫描,扫描间隔 2 nm,在检偏器的每个位置测试光谱,对测试结果分析得到不同波长的延迟量,如图 3 所示:

由图 3 可知,延迟膜的色散效应相对较小,且同种材料制作的延迟膜虽然其延迟量不同,但

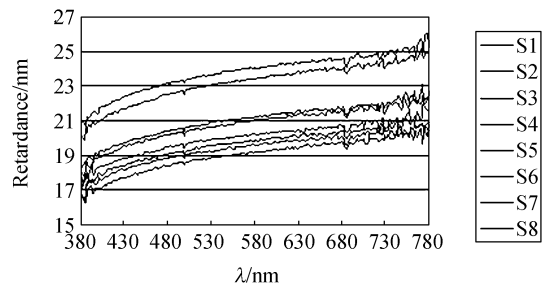


图 3 延迟量随波长的变化特性曲线

Fig. 3 Retardation characteristics of retarder at different wavelengths

其色散曲线却极为相似,由此,可以得出三基色光数据之间的关系,其中蓝光(460 nm)取 450 ~ 470 nm 光的延迟量平均,绿光(532 nm)取 522 ~ 542 nm 光的延迟量平均,红光(632 nm)取 622 ~ 642 nm 光的延迟量平均,对于所测延迟片膜有以下关系:蓝光延迟量 = (1 - 3.5%) 绿光延迟量;红光延迟量 = (1 + 2.6%) 绿光延迟量。可以看出,延迟膜对于彩色液晶显示的色彩还原有一定的影响。

### 4 测试误差

此方法可以看成是简化的椭偏仪系统<sup>[10-12]</sup>,延迟量由角度决定,而不是输出光强。角度可以很容易的达到很高的测试精度,因此延迟量也可以达到很高的测试精度,光源强度的起伏和其他由光强引起的误差在此系统中可以忽略。

很明显,  $1/4 \lambda$  波片对测试精度起着非常重要的作用。一片商用的普通  $1/4 \lambda$  波片有  $1/50 \lambda$  的误差,也就是 11 nm。一片商用的晶体制作的  $1/4 \lambda$  波片可以达到  $1/500 \lambda$ , 也就是 1 nm。尽管波片的精度足够,  $1/4 \lambda$  的状况仅是对于单一波长而言的,因此,在建立多波长系统之前,有必要研究一下它对其他波长的影响<sup>[13]</sup>。

延迟量为  $\Gamma$  的波片组成的延迟片的琼斯矩

阵<sup>[9]</sup>可以写成  $\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\Gamma}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\Gamma}{2}} \end{pmatrix}$ , 因此,输出光可以表示为:

$$\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\Gamma}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\Gamma}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \frac{\Delta}{2} & -i \sin \frac{\Delta}{2} \\ -i \sin \frac{\Delta}{2} & \cos \frac{\Delta}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \frac{\Delta}{2} \\ e^{i(\Gamma-\pi/2)} \sin \frac{\Delta}{2} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

众所周知,这代表一束长轴与  $x$  轴成角度  $\psi$  的椭圆偏振光,  $\psi$  由以下公式决定:

$$\tan 2\psi = \tan \left\{ 2 \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\Delta/2)}{\cos(\Delta/2)} \right) \right\} \cos(\Gamma - \pi/2) = \cos(\Gamma - \pi/2) \tan \Delta. \quad (4)$$

假定延迟量为 30 nm, 波长用 543.5 nm,  $1/4 \lambda$  波片的精确度为  $\lambda/50$ , 也就是  $\Gamma = 0.23\lambda$ , 代入式(4), 实际测得的延迟量为 29.78, 误差仅为 0.22 nm.

系统中有少量的光吸收和光损失<sup>[13-14]</sup>, 而这不会改变出现消光的角度, 故不影响测试结果, 这是此系统的又一优势.

目前广泛应用的延迟量的测试仪器的测试精度一般在 5 nm, 测试范围在 200 nm 以上. 此系统中即使使用商用波片, 其精度也可达到 0.22

nm, 可以满足测试要求. 另外, 由测试原理知, 此系统可以测试其精度范围内的任意小延迟量, 此为该系统的又一优势. 有的公司提供了一种宽带  $1/4 \lambda$  波片, 这种波片从 450 nm 到 700 nm 都符合  $1/4 \lambda$  状况, 且误差  $< \lambda/50$ , 因此不更换  $1/4 \lambda$  波片而测试不同波长的光程差也可以达到较高的精度.

## 5 结 论

本文搭建了一个可以测试随波长变化的延迟量的系统, 可以满足测试延迟量的需要, 尤其是可以很方便地分析延迟膜的色散效应. 数学推导分析表明, 此系统有很高的测试精度及可靠性, 可以测试其精度范围内的任意小延迟量. 测试数据结果表明, 延迟膜的色散效应相对较小, 且同种材料制作的延迟膜的色散曲线相似, 可以为分析延迟膜的色散效应对彩色液晶显示所带来的影响提供依据. 此测试系统亦可对其他光学相位延迟器件进行光谱分析, 有着广泛的应用前景.

## 参考文献:

- [1] 严明, 高志山. 波片相位延迟测量的简捷方法研究[J]. 激光技术, 2005, 29(3):233-236.  
YAN M, GAO ZH SH. The simple method research for measuring the phase retardation of waveplates [J]. *Laser Technology*, 2005, 29(3):233-236. (in Chinese)
- [2] 张敬斌, 李国华. 云母波片相位延迟的偏光干涉测量法[J]. 光电子·激光, 1997, 8(3):202-204.  
ZHANG J B, LI G H. Studies on hardness of surface layer treated by laser [J]. *Journal of Optoelectronic · Lasers*, 1997, 8(3):202-204. (in Chinese)
- [3] 徐文东, 李锡善. 波片相位延迟量精密测量新方法[J]. 光学学报, 1994, 14(10):1096-1101.  
XU W D, LI X SH. A new method for measuring phase delay of wave plate [J]. *Acta Optica Sinica*, 1994, 14(10):1096-1101. (in Chinese)
- [4] 范玲, 王菲君. 调制偏振光在光学相位延迟测量中的频谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(9):1685-1688.

- FAN L, SONG F J. Spectrum analysis of modulated polarized light in phase retardation measurement [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, 27(9):1685-1688. (in Chinese)
- [5] 胡建明, 曾爱军, 王向朝. 精确测量  $1/4$  波片相位延迟量的新方法[J]. 中国激光, 2006, 33(5):659-662.  
HU J M, ZENG A J, WANG X CH. New method for measuring retardation of quarter-wave plate [J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, 33(5):659-662. (in Chinese)
- [6] SHYU L, CHEN C, SU D. Method for measuring the retardation of a wave plate [J]. *Applied Optics*, 1993, 32(22):4228-4230.
- [7] GRUNSTRA B, PERKINS H. A method for the measurement of optical retardation angles near 90 degrees [J]. *Applied Optics*, 1966, 5(4):585-587.
- [8] 云茂金, 李国华. 晶体相位延迟测量的  $\lambda/4$  波片法及理论研究[J]. 激光技术, 2001, 25(5):328-330.  
YUN M J, LI G H. Phase retardation measurement with  $\lambda/4$  wave-plate [J]. *Laser Technology*, 2001, 25(5):328-330. (in Chinese)

- [9] 竺庆春, 陈时胜. 矩阵光学导论[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991.  
ZHU Q CH, CHEN SH SH. *Matrix Optics Introduction* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Publishing House, 1991. (in Chinese)
- [10] STOFFEL A. A mechanical modulator for use with precision ellipsometers [J]. *Applied Optics*, 1967, 6(7): 1279-1280.
- [11] JERRARD H G. Optical compensators for measurement of elliptical polarization [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1948, 38(1): 35-59.
- [12] 戈兵. 10.6 $\mu\text{m}$  薄膜 90° 位相延迟片椭圆偏参数测量方法的研究[J]. *光学精密工程*, 1991(2): 56-59.  
GE B. A study on the measurement method for el-

- liptical polarization parameters of 90° thin film phase retarder at 10.6 $\mu\text{m}$ [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1991(2): 56-59. (in Chinese)
- [13] 张大伟, 李国华, 宋连科, 等. 云母 1/4 波片偏振干涉谱的研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(2): 195-197.  
ZHANG D W, LI G H, SONG L K, *et al.*. Study on the polarization interference spectrum of mica quarter-wave plates[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2002, 22(2): 195-197. (in Chinese)
- [14] YOLKEN H T, WAXLER R M, KRUGER J. Ellipsometric errors due to multiple reflection in mica quarter-wave plates[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1967, 57(2): 283-284.

#### 作者简介:



**沈奕**(1974—), 男, 广东潮安人, 工学硕士, 高级工程师, 1996, 2002 年于汕头大学分别获理学学士和工学硕士学位, 现任汕头超声显示器有限公司总工程师, 主要从事平板显示器件技术的研究。E-mail: yishen@goworld-lcd.com



**王勇竞**(1969—), 男, 山西太原人, 博士, 研究员, 1991, 1993 和 1996 年在南开大学分别获物理学学士, 光学硕士和光学博士学位, 1997 年在美国宾州州立大学任博士后研究员, 主要从事投影光学, 液晶显示, 新型光源, 新型光电器件等方面的研究。E-mail: yongjingwang@yahoo.com



**王琳静**(1966—), 女, 山西太原人, 副教授, 于国防科技大学学士学位, 主要研究方向为应用数学。E-mail: wlj\_jane06@yahoo.com.cn



**姜言森**(1981—), 男, 山东潍坊人, 汕头大学硕士研究生, 主要研究方向为光电材料, E-mail: jiangyansen@163.com



**陈绍源**(1981—), 男, 广东佛山人, 理学硕士, 工程师, 2004, 2006 年于暨南大学获理学学士和硕士学位, 主要从事平板显示器件技术的研究。E-mail: shy-chen@goworld-lcd.com