

文章编号: 0258-7025(2003)12-1121-03

测量波片延迟量和快轴方位的新方法

王 伟^{1,2}, 李国华¹, 吴福全¹, 宋连科¹, 薛 冬¹

(¹ 曲阜师范大学激光研究所, 山东 曲阜 273165; ² 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 提出了一种能同时测量波片延迟量大小和快慢轴方位的新方法。此方法是将待测波片置于起偏镜和检偏镜之间, 通过计算机控制步进电机带动待测波片匀速旋转, 对出射光的光强进行连续测量, 得到出射光光强随时间变化曲线。分析实验曲线, 可计算出波片的延迟量, 同时也可确定波片快慢轴的方位。实验过程采用计算机控制, 操作简单, 并且在很大程度上消除了人眼分辨率有限和手动调节不精确带来的误差, 因而具有较高的精度。

关键词 应用光学; 波片; 延迟量; 快慢轴

中图分类号 O 439 **文献标识码** A

A New Method of Measuring Wave Plate Phase Delay and Fast Axis Azimuth

WANG Wei^{1,2}, LI Guo-hua¹, WU Fu-quan¹, SONG Lian-ke¹, XUE Dong¹

¹ Laser Research Institute of Qufu Normal University, Qufu, Shandong 273165, China

² Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

Abstract This paper brings forward a new method which can measure the phase delay and mark the placement of the fast and slow axis of wave plate at the same time. The measured wave plate is placed between polarizer and analyzer, and uniformly revolves under the control of stepping motor driven by computer. The curve of emergent light intensity vs time is obtained through continuous measuring the emergent light intensity. The phase delay can be calculated and the placement of the fast and slow axis of the wave plate can be marked after analyzing the curve. The process of experiment is controlled by computer, so the manipulation is sample, further more, it can avoid error originated from the limit of eyes' distinguishability and the inaccuracy of manual regulation, as a result, it has high degree of accuracy.

Key words applied optics; wave plate; phase delay; fast and slow axis

1 引 言

波片在现代偏光技术和激光应用技术领域中被广泛地应用,它是现代光学测量技术中的重要器件,它自身的精度直接影响到整个实验的测量精度^[1]。波片相位延迟的测量方法有很多种,一般的波片测量方法都基于如下的思想:已知进入波片前光的偏振状态和波片的光轴方位,测量通过波片后光的偏振状态^[2]。这些方法要求待测波片的光轴方向为已知,并且要准确判定出出射光强的两极值的大小。由于在测量极小值时信噪比很小^[3],人眼的分辨能力有限,所以这些方法测量误差较大。本文提出一

种新的波片相位延迟量的测量方法,匀速旋转待测波片时对出射光的光强进行连续测量,根据出射光光强随时间的变化曲线,在准确地测量出波片延迟量的同时可确定波片快慢轴的方位。

2 测试原理

测试装置的光学系统原理如图 1 所示。取起偏镜 P_1 的主轴方向为 x 轴,入射光的传播方向为 z 轴,起偏镜 P_1 的主轴方向与检偏镜 P_2 的主轴方向成 $\pi/4$,待测波片以角速度 ω 在垂直于入射光线的平面内匀速转动,由琼斯矩阵方法求得出射光的琼

收稿日期:2002-07-17; 收到修改稿日期:2002-10-15

作者简介:王伟(1977—),男,曲阜师范大学激光研究所研究生。E-mail:wwqf@eyou.com

斯矢量为^[4]

$$E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = M_{P_2} M_J M_{P_1} \begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta & j \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta \\ j \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta & \cos \frac{\delta}{2} - j \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} E_0 \begin{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta + j \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta \\ \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta + j \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta \end{bmatrix}$$

则出射光的光强为

$$I = E^+ E = \frac{1}{2} E_0^2 \left[\cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2} (\cos 2\theta + \sin 2\theta)^2 \right] = \frac{1}{2} E_0^2 + \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \sin 4\theta = \frac{1}{2} E_0^2 + \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \sin 4\omega t$$

所以理论上对于一个一定延迟量的波片来说出射光强 I 随时间变化的曲线为一正弦曲线。且

$$I_{\max} = \frac{1}{2} E_0^2 + \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

$$I_{\min} = \frac{1}{2} E_0^2 - \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

所以

$$\sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

$$\delta = 2 \arcsin \sqrt{\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}} \quad (1)$$

上式中的 I_{\max} 和 I_{\min} 分别是出射光强随时间变化的正弦曲线上的波峰和波谷的光强值。

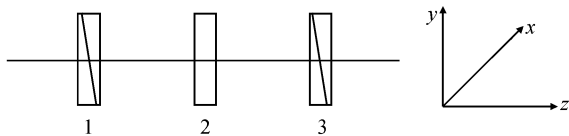


图 1 测量原理

1: 起偏镜 P_1 ; 2: 待测波片 J ; 3: 检偏镜 P_2

Fig. 1 Principle of measuring

1: polarizer P_1 ; 2: wave plate J ; 3: polarization analyzer P_2

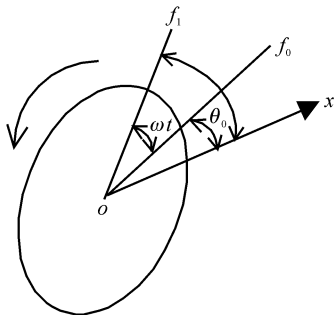


图 2 波片旋转时的角度关系

Fig. 2 Angle relation of wave plate running

假设初始位置波片的快轴 f_0 与 x 轴的夹角为 θ_0 , t_1 出射时刻光强出现第一个最大值时, 波片转动的角度 $\angle f_0 o f_1$ 是 ωt_1 , 那么此时波片的快轴 f_1 与 x 轴的夹角 $\angle f_1 o x$ 满足 $\sin(4\angle f_1 o x) = 0$, 即 $\angle f_1 o x = 22.5^\circ$, 由图 2 得 $\theta_0 + \omega t_1 = \angle f_1 o x$, 所以

$$\theta_0 = 22.5^\circ - \omega t_1 \quad (2)$$

即从初始位置转动的角度 θ_0 可以得到波片的快轴。

3 测试结果

根据测试原理在偏振分析仪的基础上搭建如图 3 的测试装置。具体测量步骤简述如下: 未插入待测波片前, 调整起偏镜 P_1 和检偏镜 P_2 使出射光强最小, 即处于消光位置, 此时起偏镜 P_1 和检偏镜 P_2 主轴互相垂直。然后将起偏镜 P_1 转动 45° , 所有装置的位置不变, 插入待测波片(不需标定其初始位置),

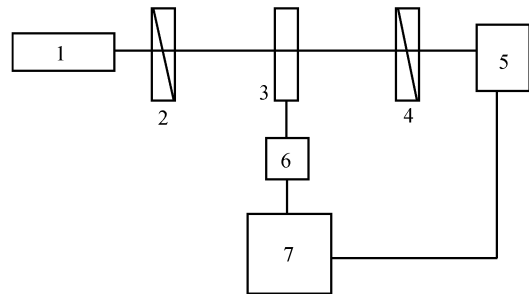


图 3 实验装置

1: 半导体激光器; 2: 起偏镜 P_1 ; 3: 待测波片 J ; 4: 检偏镜 P_2 ; 5: 探测器; 6: 步进电机; 7: 计算机

Fig. 3 Experimental facility

1: semiconductor laser; 2: polarizer P_1 ; 3: wave plate J ; 4: polarization analyzer P_2 ; 5: detector; 6: stepping motor; 7: computer

用计算机控制步进电机匀速转动波片一周回到初始位置,同时连续测量出射光的相对光强曲线。

采用步进角为 0.05° 对石英晶体波片进行了测量,相对光强随时间的变化曲线如图 4 所示。

如果能从图 4 确定出射光强的极大和极小值,就可以根据公式(1),(2)求出波片的延迟量和快轴的方位。显然利用图 4 确定极值点是比较困难的(因为极值点的斜率为零,是曲线上测量的最不敏感点)。我们是用 Matlab 作出测量曲线的微分曲线的(图 5),这样就可以通过确定灵敏的过零点位置确定光强极值位置。然后根据极值的位置在 Microcal Origin 图中确定出极值点所对应的相对光强值。

从图 5 可以确定出射光强的极值点,它们对应的光强值和角度示于表 1。

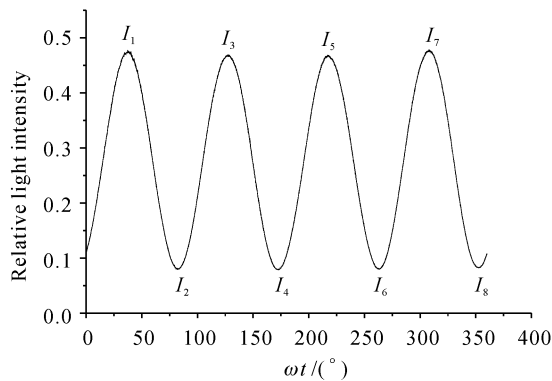


图 4 出射光的相对光强随波片旋转的变化

Fig. 4 Relative light intensity following revolution of the wave plate

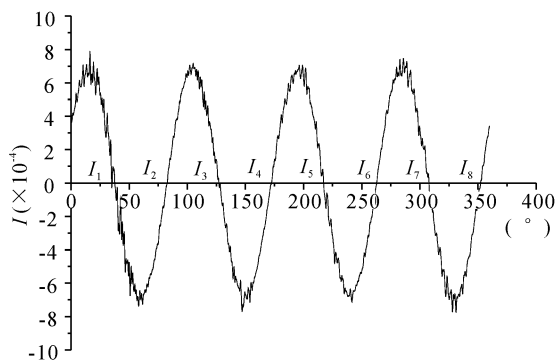


图 5 相对光强的变化率

Fig. 5 Relative light intensity variance ratio

为了尽量消除探测时间上的误差取 $I_{\max} = \frac{1}{4}(I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = 0.4709$, $I_{\min} = \frac{1}{4}(I_5 + I_6 + I_7 + I_8) = 0.0808$, 根据公式(1)可以计算出 $\delta = 114.47^\circ$ 。根据公式(2)该波片的快轴可以从初始位

置旋转 $\theta_0 = 22.5^\circ - 37.65^\circ = -15.15^\circ$, 即从初始位置反向旋转 15.15° 。

表 1 极值点的相对光强值和角度值
Table 1 Relative light intensity and angle of the extreme point

	Relative light intensity	Angle / ($^\circ$)
I_1	0.4738	37.65
I_2	0.0804	82.92
I_3	0.4674	127.08
I_4	0.0795	172.36
I_5	0.4671	217.32
I_6	0.0804	262.90
I_7	0.4753	318.18
I_8	0.0829	352.34

4 分析与结论

该实验装置的优点在于:1) 测量的过程中可以将波片的延迟量的大小和快轴的方位同时测出,对波片的初始位置没有要求,消除了由于波片快轴方位调节带来的误差。2) 利用计算机控制使实验操作简单方便,测量时间较短,很大程度上消除了光源光强随时间的不稳定。3) 测量装置中各个元件的吸收以及探测器的接收效率对 δ 的计算没有影响,因为公式中用到的是最大、最小光强的比值。4) 利用光强随时间的变化曲线即它的微分曲线能够比较准确地找到出射光强的极大和极小值,有效地消除了人眼分辨能力有限所造成的误差。

测量的误差主要来源于探测器的灵敏度不高,另外波片的转动平面和入射光方向不严格垂直也同樣带来误差,环境温度会直接影响测量结果。

参 考 文 献

- 1 Li Guohua, Xue Qingwen, Li Jizhong *et al.*. The calibration of a quasi-quarter-wave plate [J]. *Laser Journal* (激光杂志), 1991, **12**(3): 121~122 (in Chinese)
- 2 Xu Wendong, Li Xishan. A new method for measuring phase delay of wave plate [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1994, **14**(10): 1096~1101 (in Chinese)
- 3 Zhang Jingbin, Li Guohua. Feasible study on the measurement of phase delay of mica plate by interference method [J]. *Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1997, **8**(3): 202~204 (in Chinese)
- 4 Wei Guanghui. *Matrix Optic* [M]. Beijing: Armament Industry Publishing Company, 1995. 156~158
- 5 Wang Zhaobing, Song Lianke. A simple method of measuring the rotation of the polarized light [J]. *Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2001, **12**(4): 397~399 (in Chinese)