

文章编号: 1001-3806(2005)01-0080-02

## 分束差动探测法测量波片的相位延迟

郝殿中, 吴福全

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为提高系统的测量精度, 拓宽系统的测量范围, 基于偏振调制原理, 设计了分束差动法测量波片延迟量的方法和实验系统。测试表明, 该系统的测量范围覆盖紫外、可见及近红外区域, 也可以用来测量其它相位延迟器的延迟量。对于 1/4 波片和半波片的测量精度优于 0.1%。

关键词: 分束; 差动; 波片; 相移

中图分类号: O432.2 文献标识码: A

### Measurement of the phase retardation of wave-plate using beam splitting and differential method

HAO Dian-zhong, WU Fu-quan

(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

**Abstract** Based on the principle of polarizing modulation, a new method of phase retardation measurement and the experimental system are given. Investigative purpose is how to rise metrical precision and to rise metrical range. Measured result is metrical range from ultraviolet to near infrared and can measure other phase retardation. It is especially powerful for calibrating quarter-wave-plate and half-wave-plate; the metrical precision is less than 0.1%.

**Key words** beam splitting prism; differential wave-plate; phase retardation

## 引 言

在光学技术领域, 特别是在偏光器件的应用中, 光学相位延迟器是光学调制系统中的重要器件。这类器件和偏光器件相配合, 可以实现各种偏振态之间的相互转换、偏振面的旋转以及各类偏振光的调制。事实上, 几乎在所有应用偏光器件的地方都离不开相位延迟器件。相位延迟量作为延迟器件的重要参数, 其精确度的测量一直很重要。石英是制作紫外、红外区波片的理想材料, 因此, 研究提高测量石英波片相位延迟量的精度的自动化处理系统、方法是非常必要的。常用的测量方法有: (1) 补偿法; (2) 光谱测量法; (3) 光电调制法; (4) 相位探测法; (5) 光学外差干涉测量法<sup>[1, 2]</sup>。上述方法基本采用手动的测量方式, 测量误差比较大, 重复性一般。本文中介绍的分束差动计算机自动测量法是在原光路的基础上做了重大改进, 测量系统采用计算机进行自动处理, 测量的误差小, 重复性高, 误差小于 1%, 在紫外、可见及近红外均可使用, 大大提高了实验测试精度。

作者简介: 郝殿中 (1963-), 男, 讲师, 现主要从事光学薄膜和光电测试方面的工作。

E-mail: dzhhao@163.com

收稿日期: 2004-01-06 收到修改稿日期: 2004-03-23

## 1 理论与测试

实验装置如图 1 所示。该装置把通常光路中所用的检偏器、半阴镜等后面的元件全部用一个分束比接

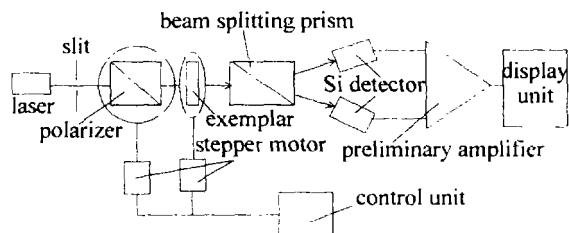


Fig 1 Experimental system

近 1:1 的分束镜代替。起偏器和待测波片分别放在由步进电机驱动的可旋转载物台上。步进电机的步距角为  $0.36^\circ$ , 通过一个 10:1 的减速齿轮带动载物台转动。步进电机的驱动脉冲由控制单元给出。步进电机每转动一步, 载物台只转动  $0.036^\circ$ , 合  $2'16''$ 。大大提高了系统的精度。探测器采用两个型号相同的 Si 探测器, 其波长响应范围为  $200\text{nm} \sim 1100\text{nm}$ 。覆盖紫外到近红外区域。探测器的信号经差动放大器放大处理, 进入显示处理单元。

当一束线偏振光通过分束棱镜时, 若其电矢量振动方向与分束棱镜透振方向成  $45^\circ$  角时, 分束棱镜分出的两束光的能量相等, 经 Si 探测器探测后, 送到差

动放大器进行差分放大, 输出信号为  $Q$  显示单元的读数为  $Q$ 。对椭圆偏振光来说, 若其主轴方向与分束棱镜的透振方向成  $45^\circ$  角时, 同样也是平衡输出。这就是分束差分探测法测量波片相位延迟的理论依据。

如图 2 所示, 让  $x_1$  和  $x_2$  分别代表分束棱镜的两个主轴方向,  $I$  代表线偏振光的初始振动方向, 首先使

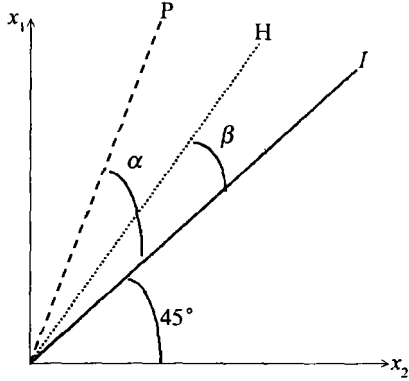


Fig 2 Schematic plan of polarized light

$x_1, x_2$ —basic shaft of beam splitting prism  $I$ —initial vibrate direction of linearly polarized light  $H$ —wave-plate  $P$ —polarizer

波片转动 1 周, 若有 8 次平衡输出位置, 则该波片为标准  $\lambda/4$  波片; 若仅有 4 次平衡输出位置, 则为非标准  $\lambda/4$  波片。这时把起偏器旋转一个角度  $\alpha$ , 则破坏了原来的平衡状态, 显示单元读数不再为  $Q$ 。这样继续旋转待测波片到  $\beta$  角, 必将产生一个主轴平行于  $I$  的椭圆偏光, 使沿  $x_1$  和  $x_2$  的分量再次相同, 从而使显示输出再次为  $Q$ 。这时  $\alpha, \beta$  和延迟量  $\delta$  的关系式<sup>[3]</sup>为:

$$\cos\delta = -\tan 2\beta / \tan 2(\alpha - \beta) \quad (1)$$

分析 (1) 式可以看出: (1) 当  $\delta = \pi/2$  时,  $\beta = n\pi/\alpha$  或  $(\alpha - \beta) = (n + 1/2)\pi$  ( $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ); (2) 当  $\delta > \pi/2$  时,  $\cos\delta < 0$  则  $\tan 2\beta, \tan 2(\alpha - \beta)$  同号, 当  $\alpha$  增加时,  $\beta$  也增加,  $\tan 2\beta, \tan 2(\alpha - \beta)$  同时变为 0 或  $\infty$ , 然后随  $\alpha$  的增加同时变号; (3) 当  $\delta < \pi/2$  时,  $\cos\delta > 0, \tan 2\beta, \tan 2(\alpha - \beta)$  异号, 且  $|\tan 2\beta| < |\tan 2(\alpha - \beta)|$ ,  $\alpha$  和  $\beta$  异号, 当  $\alpha$  继续增加时,  $(\alpha - \beta)$  也增加,  $\tan 2(\alpha - \beta)$  要变号, 而  $\tan 2\beta$  不变号, 这显然是不可能的。

利用 (1) 式, 调整波片到平衡输出位置时, 记下相应的脉冲数, 再换算成角度, 即可算出波片的延迟量。

Table 1 Normal  $\lambda/4$  quartz wave-plate ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}, T = 25^\circ\text{C}$ )

num ber of wave-plate	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
No 1	$19^\circ 58'$	$- 58'$	$87^\circ 50'$
No 2	$19^\circ 58'$	$- 1^\circ$	$87^\circ 46'$
No 3	$19^\circ 58'$	$- 1^\circ 30'$	$86^\circ 46'$
No 4	$19^\circ 58'$	$- 55'$	$87^\circ 39'$

Table 2 Nonnomal  $\lambda/4$  quartz wave-plate ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}, T = 25^\circ\text{C}$ )

num ber of wave-plate	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
No 1	$19^\circ 58'$	$- 9^\circ 30'$	$78^\circ 12'$
No 2	$19^\circ 58'$	$+ 9^\circ 33'$	$155^\circ 30'$
No 3	$19^\circ 58'$	$+ 7^\circ 27'$	$124^\circ 43'$
No 4	$19^\circ 58'$	$- 8^\circ 15'$	$78^\circ 37'$

采用图 1 所示的实验装置, 对标准和非标准波片进行了测量, 结果见表 1 和表 2。

## 2 误差分析

设  $\Delta\alpha, \Delta\beta$  为实验测量误差, 对 (1) 式取微分有:

$$\sin\delta \cdot \Delta\delta = 2\sec^2 2\beta \cot 2(\alpha - \beta) \cdot \Delta\beta - 2\csc 2(\alpha - \beta) \tan 2\beta (\Delta\alpha - \Delta\beta) \quad (2)$$

分析 (2) 式, 对于准  $\lambda/4$  波片,  $\delta \approx \pi/2$  若取  $(\alpha - \beta) = \pi/4$  或  $\beta = 0$  时, 则有:

$$\Delta\delta = 2\cot 2\beta (\Delta\alpha - \Delta\beta) \text{ 或 } \Delta\delta = 2\cot 2\alpha \cdot \Delta\beta \quad (3)$$

在实际测量中,  $\Delta\alpha, \Delta\beta$  的测量误差均小于  $0.05^\circ$ , 这样, 由 (3) 式发现, 若  $\alpha, \beta < \pi/8$  时, 则  $\delta$  的实验误差优于  $0.1\%$ 。

## 3 结论

该测试系统的误差主要来源于角度的测量, 采用高精度步进电机, 通过减速调节波片的转动速度, 这样大大减小了角度的人工测量带来的较大误差。两个硅探测器的性能要求参数要接近, 该实验中两个探测器经老化筛选性能满足要求。

利用分束差动探测, 还可以对  $\lambda/2$  波片进行精确测量。若直接测量  $\lambda/2$  波片, 精度没有  $\lambda/4$  波片高, 采用准  $\lambda/4$  波片作为辅助片进行测量, 精度可与  $\lambda/4$  波片相同。

另外, 还可以测出对应于  $\lambda/4$  或  $\lambda/2$  波片时的波长数值, 只要在给定的波长范围内, 测出一系列  $\delta$  和  $\lambda$  的值, 作出  $\delta$ - $\lambda$  曲线图, 即可找出波片对应于  $\lambda/4$  或  $\lambda/2$  的对应波长  $\lambda_0$ 。

## 参 考 文 献

- [1] 尚世铎, 袁树忠, 吕福云 *et al* 近代物理实验技术 ( ) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993. 120~155
- [2] 江月松, 阎平, 刘振玉. 光电技术与实验 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000. 222~244
- [3] 薛庆文, 李国华. 分束探测法测量波片的相位延迟 [J]. 激光杂志, 1992. 13(3): 143~145