

文章编号: 0253-2239(2006)03-0379-4

1/4 波片延迟量的相位调制椭圆偏测量法

赵培¹ 吴福全¹ 郝殿中¹ 王初² 任树锋¹

(¹ 曲阜师范大学激光研究所, 曲阜 273165
² 曲阜师范大学物理工程学院, 曲阜 273165)

摘要: 利用椭圆偏测量术中的相位调制椭圆偏测量原理测量了 1/4 波片的延迟量。该方法预先对测量光束的偏振态进行调制, 以生成随时间变化的光强信号, 通过对信号中的谐波成分进行分析而获得待测波片的延迟量。测量了四个波片, 其中三个波片的延迟量已经用电光调制法精确测量过, 经对比测量的结果符合较好。观察到了和理论相符的云母波片延迟量的振荡现象。实验结果说明这种方法是一种有实际意义的方法。

关键词: 光学测量; 偏振光学; 相位调制; 1/4 波片; 延迟量

中图分类号: O439 文献标识码: A

Measurement of the Delay of the Quarter-Wave Plate by Phase-Modulated Ellipsometry

Zhao Pei¹ Wu Fuquan¹ Hao Dianzhong¹ Wang Reng² Ren Shufeng¹

(¹ Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 2731654
² Department of Physics, Qufu Normal University, Qufu 2731654)

Abstract: The quarter-wave plate is the key device in the technology of polarized light. So it is important to determinate the retardation of the wave plate. A phase-modulated ellipsometry is described. By modulating the state of polarization, intensity signal changing with time is generated from the detector. The delay of the wave plate is obtained by analysing the harmonic component in the signal. The delay of four wave plates is measured, that of three wave plates among them has been precisely measured by electrooptic modulation method. By comparing the results of the two ways, it is found that they have little difference. The oscillation phenomenon in the delay of the isinglass wave plate is found, which had been proved in the reference 3. The experimental results show the phase-modulated ellipsometry is of significance.

Key words: optical measurement; polarization optics; phase modulation; quarter-wave plate; retardation

1 引 言

随着偏光技术的发展, 波片作为一种相位延迟器件得到了广泛的应用。延迟量是波片的一个重要的参量, 在波片的应用中是必不可少的。在光学隔离、偏光干涉技术中, 也常需要精确测量波片的相位延迟。目前, 测量波片相位延迟的方法有补偿法、电光调制法、光学外差法、光谱测量法及 $\lambda/4$ 波片法等^[1~3]。本文介绍了一种利用相位调制椭圆偏测量波片相位延迟量的方法, 该方法是对补偿器的相位差进行预先调制, 使光束的偏振态发生变化, 通过探测光强中的谐波成分, 然后进行分析以取得样品的

延迟量^[4]。

2 测量原理

测量原理如图 1 所示, 从光源发出的自然光经过起偏器后变成线偏光, 进入待测波片, 然后经过调制器, 再由检偏器变成线偏光, 最后由探测器探测到光强的变化从而计算出待测波片的延迟量。调制器由夹在两个压力振子之间的融凝石英棒制成, 压力的振荡频率为 50 Hz。在交变压力的作用下, 石英产生应力双折射也是交变的, 从而产生交变的相位差, 实现相位的调制。

作者简介: 赵培(1977~), 男, 山东滕州人, 中国科学院上海技术物理研究所博士研究生, 主要从事薄膜光学方面的研究。E-mail: zhaopei2004@sohu.com

收稿日期: 2005-03-11; 收到修改稿日期: 2005-06-25

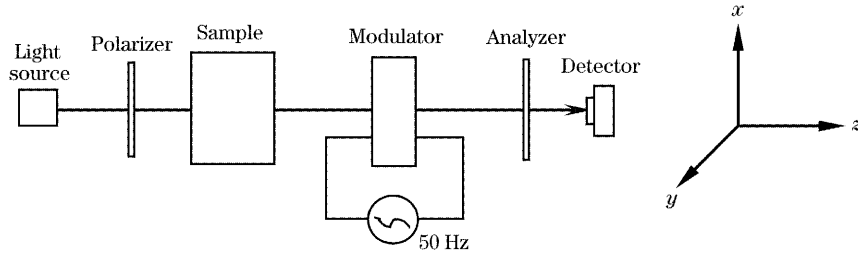


图 1 测量原理

Fig. 1 Measurement principle

我们以光的传播方向为 z 轴,待测波片的主轴与 x, y 轴建立直角坐标系,如图 1 所示,各元件的主轴与 x 轴的夹角分别用各自的字母右上方加“’”

表示,例如 P' 就表示起偏器的方位角,即起偏器的主轴与 x 轴的夹角。建立该系统的琼斯矩阵^[4,5]

$$\begin{bmatrix} E_{xD} \\ E_{yD} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos^2 A' & \sin A' \cos A' \\ \sin A' \cos A' & \sin^2 A' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos^2 M' T_M \exp(j\delta_i) + \sin^2 M' & \sin M' \cos M' [T_M \exp(j\delta_i) - 1] \\ \sin M' \cos M' [\exp(j\delta_i) - 1] & \sin^2 M' T_M \exp(j\delta_i) + \cos^2 M' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T_S \exp(j\Delta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos P' \\ \sin P' \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中 E_{xD}, E_{yD} 表示从检偏器出射的光沿 x, y 方向的电场强度。 δ_i 表示从调制器出射的光的相位变化, $\delta_i = N \sin(\omega t)$, $N = 2\pi d |n_{My} - n_{Mx}| / \lambda$, n_{My}, n_{Mx} 为调制器两主轴方向的折射率, ω 为调制信号的圆频率。 T_M 表示光在调制器主轴方向和垂直于主轴方向的衰减比,一般在测量中常认为 $T_M = 1$ 。 T_S 表示待测波片快慢轴方向的衰减比,记为 $T_S = \tan \psi$, Δ 表示待测波片的延迟量, $\Delta = 2\pi d |n_y - n_x| / \lambda$ 。 K 为比例系数,包含了各器件矩阵前的共同因子。

将 T_M, T_S, δ_i 代入(1)式,经运算,最后探测器探测到的光强信号为

$$I = [E_{xD} \ E_{yD}] \begin{bmatrix} E_{xD} \\ E_{yD} \end{bmatrix} = S_0 + S_1 \sin \omega t + S_2 \cos 2\omega t, \quad (2)$$

$$S_0 = G[I_0 + J_0(N)],$$

$$S_1 = 2GJ_1(N)I_s, \quad (3)$$

$$S_2 = 2GJ_2(N)I_c,$$

其中, $G = K^2 \times N$, N 为与探测器的性能及光强分布有关的比例因子, $J_m(N)$ 是以 N 为宗量的 m 阶贝塞尔函数, I_0, I_s, I_c 是和各元件方位角及待测波片有关的量,如果我们令 $A' = 45^\circ, M' = 0^\circ, P' = 45^\circ$, 则它们可以表示为

$$\begin{cases} I_0 = 1, & I_s = \sin 2\Psi \sin \Delta, \\ I_c = \sin 2\Psi \cos \Delta, \end{cases} \quad (4)$$

由(3)式和(4)式得到

$$\begin{cases} \sin 2\Psi \sin \Delta = \frac{S_1}{S_0} \frac{1 + J_0(N)}{J_1(N)}, \\ \sin 2\Psi \cos \Delta = \frac{S_2}{S_0} \frac{1 + J_0(N)}{J_2(N)}, \end{cases} \quad (5)$$

在测量中, $J_m(N)$ 是已知的,因此探测出 S_0, S_1, S_2 后,可由(5)式推算出 Δ 。

3 实验装置

测量是在法国 Jobin Yvon 公司生产的 UVISEL 椭偏仪上进行的,利用了该仪器的透射方式。椭偏仪的结构如图 2 所示。

150 W 的氙灯发出的光经反光镜反射会聚后成为平行光束,经过起偏器后变成线偏光,在起偏器后有一快门,用来遮挡光束以便测量背景光,在快门后放置样品,光束通过样品后偏振状态发生了变化,在调制器调制后通过检偏器,然后利用光纤把光束引入单色仪,在单色仪分光后用探测器探测,探测到的信号送入计算机处理,最后得到样品的延迟量。单色仪的范围为 190~1700 nm,扫描间隔最小为 0.01 nm,整个系统调节由计算机控制。

测量时先旋转起偏器的光轴方向为 0° ,然后在后面另外加一检偏镜,调整检偏镜消光,再把待测样品放置在两者之间,调整样品使光束垂直通过,然后旋

转样品再次消光,这时样品的光轴就和起偏器平行或垂直,然后旋转起偏器的光轴为 45°,拿掉后面的检偏

镜,打开椭圆偏仪的控制软件设定参量后即可进行测量。

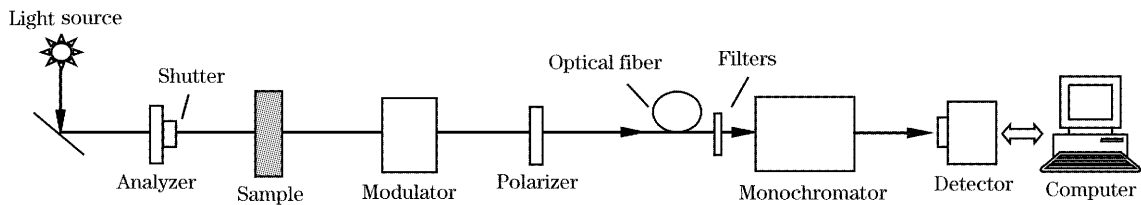


图 2 椭圆偏仪的结构

Fig. 2 The structure of the ellipsometer UVISEL

4 实验结果及讨论

我们测量了 473 nm, 633 nm, 镀膜 633 nm 1/4 云母波片以及 1.2 mm 厚石英波片延迟量,测量结果如图 3~图 6 所示。

迟量出现了振荡的形式。图 5 给出了镀增透膜后 633 nm 1/4 云母波片的延迟量,和图 4 相比,振荡现象明显的消除了,这和理论预期相符^[6]。

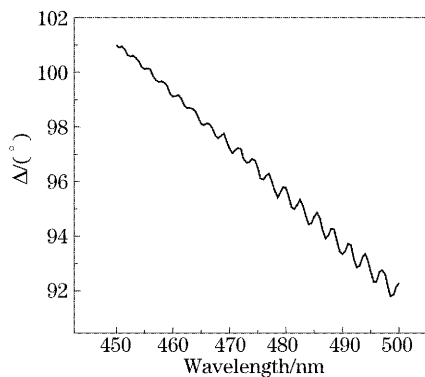


图 3 云母 473 nm 1/4 波片 450~500 nm 间的延迟量
Fig. 3 Retardation of 473 nm quarter-wave mica flake from 450 nm to 500 nm

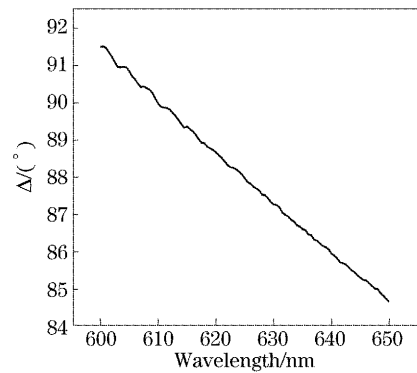


图 5 镀膜云母 633 nm 1/4 波片 600~650 nm
Fig. 5 Retardation of the 633 nm quarter-wave filmed micaflake from 600 nm to 650 nm

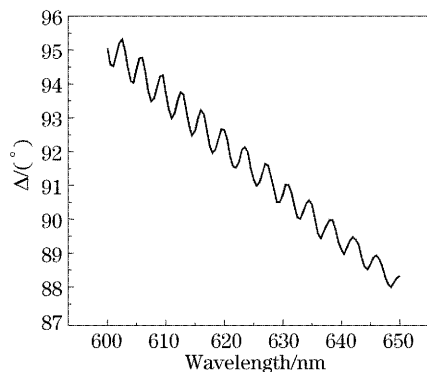


图 4 云母 633 nm 1/4 波片 600~650 nm 间的延迟量
Fig. 3 Retardation of 633 nm quarter-wave mica flake from 600 nm to 650 nm

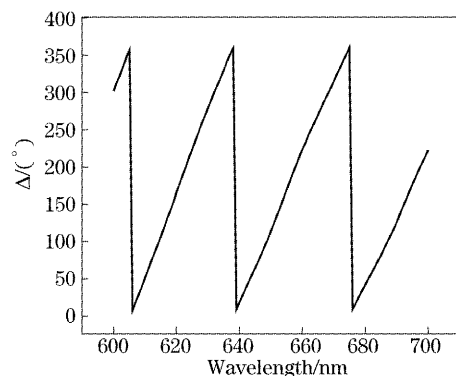


图 6 石英 1/4 波片 600~700 nm 间的延迟量
Fig. 6 Retardation of the quarter-wave quartz plate from 600 nm~700 nm

由图 3、图 4 看出,波片的延迟量随波长在 90° 附近呈现出明显的振荡形式,这和文献[3]中提到的情况相符合,其原因在于云母制作的单级波片非常薄,造成了多次反射的光线产生了干涉,从而使得延

对于石英波片来说,图 6 显示出随波长改变其延迟量迅速地周期性变化,在 633 nm 附近,波长每改变 1 nm,延迟量要变化 9° 左右,这和我们理论计算的值相符合^[6]。石英波片延迟量剧烈周期性变化的原因在于它是多级的,其延迟量对于波长的变化

非常敏感,因此石英多级波片只能用在几个分离的波长上。

测量中使用的 473 nm, 633 nm 及镀膜的 633 nm 云母波片预先都用电光调制法进行了测量, 测量结果见表 1。由表 1 看出, 633 nm 波片镀膜前后的延迟量和电光调制法测量的结果符合较好, 但是 473 nm 波片有 6° 左右的差别, 我们分析原因在电光调制法使用的是 633 nm 的激光光源, 对 633 nm 波片来说测量是准确的, 但是对其 473 nm 波长来说, 是先测量它在 633 nm 处的延迟量, 然后经过换算得到 473 nm 处的延迟量, 因此有一定的误差。

表 1 两种测量方法的比较

Table 1 The comparison of two measurements

	473 nm	633 nm	633 nm (filmed)
Electrooptic modulation	90°	88.6°	85.6°
Phase modulation	96.6°	90.02°	86.87°

5 结 论

本文介绍了一种利用相位调制椭圆术测量波片相位延迟量的方法, 利用椭圆仪的透射测量方式, 测量方便, 速度快。从测量结果看出, 测量结果和理论预期相符合得较好, 并且能够对波长连续扫描, 从而避免了电光调制法中存在的由于波长换算而造成的延迟量测量的误差, 但是由该方法测量得到的云母

波片延迟量的振荡幅度小于理论计算值, 所以需要对该方法做进一步的探讨。

参 考 文 献

- 1 Wang Ning, Li Guohua, Zhang Dawei. A simple way of determining the phasica delay angle of wave plate[J]. *J. Qufu Normal University*, 2001, **27**(4): 47~49 (in Chinese)
王 宁, 李国华, 张大伟. 一种测定波片相位延迟角的简单方法[J]. *曲阜师范大学学报*, 2001, **27**(4): 47~49
- 2 Yu-Lung Lo, Jing-Fung Lin, Sen-Yung Lee. Polariscopes for simultaneous measurement of the principal axis and the phase retardation by use of two phase-locked extractions[J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(34): 6248~6254
- 3 Zhao Qiuling, Wu Fuquan. Optical phase retardation measurement by normalized polarizing modulation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(3): 361~363 (in Chinese)
赵秋玲, 吴福全. 光相位延迟量的归一化偏振调制测量[J]. *光学学报*, 2002, **22**(3): 361~363
- 4 R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. *Ellipsometry and Polarized Light* [M]. transl. Liang Minji, Yin Shubai, Zhang Fuchu *et al.*, Beijing: Science Press, 1986. 172~174 (in Chinese)
R. M. A. 阿查姆, N. M. 巴夏拉. 椭圆偏振测量术和偏振光 [M]. 梁民基, 尹树百, 张福初等译. 北京: 科学出版社, 1986. 172~174
- 5 Yan Jixiang, Wei Guanghui, Ha Liuzhu *et al.*. *Matrix Optics* [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1993. 156~158 (in Chinese)
阎吉祥, 魏光辉, 哈流柱等. 矩阵光学 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1993. 156~158
- 6 Li Jingzhen, Su Shixue, Zhao Junmin *et al.*. *Optics Handbook* [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1984. 568~569 (in Chinese)
李景镇, 苏世学, 赵俊民等. 光学手册 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1984. 568~569