

文章编号: 1001-3806(2006)01-0099-02

测量云母双折射率的波长调制补偿方法

许言强, 宋连科*, 赵培涛

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 根据云母折射率的色散关系和相位延迟随波长变化关系, 给出了一种测量双折射率比较精确的方法。通过测量云母材料的厚度和相应厚度情况下作为 $\lambda/4$ 波片使用所对应的波长, 利用相位延迟与波长及厚度函数关系式直接求得云母的双折射率。该方法简便, 测量精度达到 10^{-5} 量级。

关键词: 光学器件; 白云母; 双折射率; 延迟相位; 光强

中图分类号: O436.3 文献标识码: A

Birefringence measurements of muscovite mica with wavelength modulation compensation method

XU Yan-qiang, SONG Lian-ke, ZHAO Pei-tao

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

Abstract A new accurate method for measuring the birefringence of muscovite mica has been reported in terms of the dispersion relations of the indices and the variety relations between the phase delay and the wavelength. Through measuring the thickness of mica plates and the wavelengths at which they act as quarter-wave phase retarders, the birefringence can be obtained in terms of the function relation between the phase delay, the wavelength and the thickness. This method is simple and the accuracy of the measurement is in the order of 10^{-5} .

Key words optical devices; muscovite mica; birefringence; phase retardation; intensity

引 言

复合片状硅酸盐负双轴晶体云母是设计制作单级光相位延迟片较理想的双折射材料, 由于其易于解理, 容易制成单级片, 被广泛用于制作各种相位延迟器件^[1~4]。30 μ m 厚度左右云母片适于做成 $\lambda/4$ 波片, 相位延迟 $\delta = -2\pi d(n_e - n_o)/\lambda_0$, 其中, d 是材料的厚度, $(n_e - n_o)$ 是对应于波长 λ 的双折射率^[5,6], 负号表示白云母是负双轴晶体。相位延迟 δ 可以通过实验直接测定^[7~10]。云母双折射率是一个与波长有关的参量, 而且与晶体结晶环境条件有关^[11], 不同矿区或同一矿区不同矿点, 其值有所差异。精确测量出云母的双折射率对器件设计有较大的实际意义。相位延迟公式提供了一种思想, 利用相位延迟与波长的关系, 通过测量材料的厚度和 $1/4$ 或者 $1/2$ 相位延迟所对应的波长, 可直接求出云母的双折射率。

1 实验装置和原理

测量系统如图 1 所示, 其中 S 是光源, M 是单色

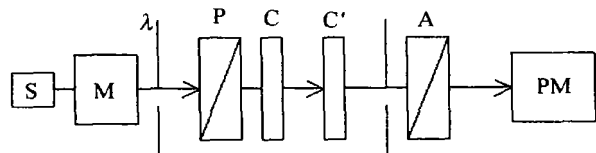


Fig 1 Experiment setup

仪, P, A 分别是起偏镜和检偏镜, 起、检偏方位分别是 0° 和 -45° , C 和 C' 是两个完全相同的云母片, 快轴方向分别为 $45^\circ, 0^\circ$, PM 是光电信息处理系统。假若调制波长到 λ_0 处, 云母片的相位延迟正好为 $\pi/2$ 此时单色光, 起偏镜, C, C', 检偏镜的琼斯矩阵分别为:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \\ & 1 \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1+i & 1-i \\ 1-i & 1+i \end{bmatrix},$$
$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}, N = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

则从检偏器出射的光由琼斯矩阵表示为:

$$E = \begin{bmatrix} E_{0x} \\ E_{0y} \end{bmatrix} = N \cdot Q \cdot T \cdot Z \cdot F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

作者简介: 许言强 (1978-), 男, 硕士研究生, 从事光学器件设计及光学测量工作。

* 通讯联系人。E-mail: lksong@mail.gfnu.edu.cn

收稿日期: 2004-10-13 收到修改稿日期: 2004-11-08

由(2)式可知,在波长 λ_0 处,光波通过一系列器件后出现消光现象。这时通过光电信息处理系统将会探测到光强的最小值。互换C和C'(快轴方向要相应改变),重新测量光强最小值,取两次测量的光波长平均值。不同厚度的云母片对应的消光波长 λ_0 的值不同,表1中给出了厚度 d 与波长 λ_0 的对应关系的测量结果。

Table 1 Measurement results of plate thickness and measurement wavelength

No	$d/\mu\text{m}$	λ_0/nm	$(n_e - n_o)$
	($\pm 0.2\mu\text{m}$)	($\pm 1.5\text{nm}$)	($\pm 4 \times 10^{-5}$)
1	26.3	422.0	-0.00401
2	27.0	437.0	-0.00404
3	28.8	477.0	-0.00417
4	31.6	538.0	-0.00428
5	33.1	572.0	-0.00432
6	34.6	606.0	-0.00441
7	36.5	657.0	-0.00452
8	38.6	703.0	-0.00457

2 实验结果及误差分析

厚度不同的云母片在不同的某些波长下可以作为 $\lambda/4$ 波片使用,将其对应波长与云母片的厚度代入相位延迟公式,便可求得相应波长的双折射率,结果列于表1中最后一列。在所有测量结果中,每一对云母片所测得的波长值与平均值相差不超过1nm。误差来源包括云母片的厚度测量和入射波长的确定。通过电光补偿方法对云母片的厚度进行测量,保证了厚度测试的精度要求,将每一片分成相同的两部分(C和C'),保证了样品成对一致性,云母片的快轴和慢轴用塔顿检验法区别^[2]并标注在云母片上。由于云母波片厚度极薄,且前后两个表面平行度好,这就导致光波在波片内部多次反射,从而引起干涉效应^[12],为了消除这种干涉效应,把云母片胶合夹在两块高度透明的平行玻璃盖板之间,并调整测量系统中入射和出射狭缝的宽度范围在4nm~6nm,这样的宽度可以有效消除干涉效应。

将相位延迟公式微分可得到误差表达式:

$$\Delta(n_e - n_o) = -\frac{1}{4} \left(\frac{\Delta\lambda}{d} - \frac{\lambda}{d^2} \Delta d \right) \quad (3)$$

当波长测量误差控制在1.5nm、厚度误差在0.2 μm 时,由(3)式可知,云母双折射率测量误差为 4×10^{-5} 。

3 结 论

尝试了一种新的直接测量白云母双折射率的方法,该测量方法的优点是入射波长可以直接读出,不需要额外的数学计算和分析,缺点是两云母片必须完全一样,否则会影响光强最小值的确定。测量结果显示,白云母的双折射率从422nm的-0.00401逐渐减小到703nm的-0.00457。通过选择多种厚度的云母片进行测量,也可用最小二乘法求出某些矿区云母双折射率的色散方程。

参 考 文 献

- [1] SU M K, LI G H, SONG L K. Achromatic $\lambda/4$ wave-plate [J]. Laser Technology 1996, 20(1): 29~31(in Chinese).
- [2] ZHONG C H, SONG L K, LIANG R R. Optimizational design scheme for three ir-one composite achromatic $\lambda/4$ wave-plate [J]. Chinese Journal of Lasers 2004 31(6): 662~664(in Chinese).
- [3] SONG L K, LI G H. Design of three element combination achromatic retarder made of mica and quartz [J]. Journal of Optoelectronics* Laser 2000 11(1): 51~54(in Chinese).
- [4] ZHOU J, CHENG Z J, SU G Y. A synthetic analysis of the composite quarter waveplate [J]. Journal of Optoelectronics* Laser 2001, 12(4): 368~340(in Chinese).
- [5] LI G H. Optics [M]. Jilin: Shandong Education Press 1990. 412~420(in Chinese).
- [6] LI J Z Handbook of optics [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Publishing House 1986. 566~576(in Chinese).
- [7] YUN M J, LI G H. Phase retardation measurement with $\lambda/4$ wave-plate [J]. Laser Technology, 2001, 25(5): 328~330(in Chinese).
- [8] SONG L K, LI Y, LIN C C. Accuracy analysis about the retardation measurement of the electro-optic modulation method [J]. Laser Journal 1990 11(4): 178~180(in Chinese).
- [9] SONG L K, LI G H, DAIZ X. Continuous birefringence measurement in 0.29 to 2.5 μm range by polarization interfering [J]. Journal of Optoelectronics* Laser 1996 7(6): 356~360(in Chinese).
- [10] SONG L K, LIN C C, LI H *etal*. Impact of discrepant dispersion relations of birefringent indexes on mica waveplate designing [J]. Journal of Qufu Normal University, 2001, 27(2): 44~47(in Chinese).
- [11] ZHAO S R. Crystal and mineral [M]. Beijing: Higher Education Press 2004. 204~217(in Chinese).
- [12] ZHANG D W, LI G H. Study on the polarization interference spectrum of mica quarter wave-plate [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis 2002 22(2): 195~197(in Chinese).