

消色差 $\lambda/4$ 波片

苏美开 李国华 宋连科

(曲阜师范大学激光所, 曲阜, 273165)

摘要: 让某一波长的 $\lambda/4$ 波片和 $\lambda/2$ 波片的两快轴的夹角成 60° , 组成复合 $\lambda/4$ 波片, 则该复合片在该波长附近是消色差的。

关键词: $\lambda/4$ 波片 消色差

An chromatic $\lambda/4$ waveplate

Su Meikai, Li Guohua, Song Lianke

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Abstract: A complex achromatic $\lambda/4$ waveplate, which is composed of a $\lambda/4$ waveplate and a $\lambda/2$ waveplate, has been developed. The fast axes of the waveplates make an angle of 60 degree with each other. The experiment shows that the complex $\lambda/4$ waveplate is chromatic at the range of $0.48 \sim 0.76\mu\text{m}$.

Key words: $\lambda/4$ waveplate achromatic

一、引言

常用的 $\lambda/4$ 波片是指对某一波长而言的, 对其它波长一般不能作 $1/4$ 波片用, 该 $1/4$ 波片对任意波长 λ 的延迟量为^[1]:

$$\delta = 2\pi\Delta n d / \lambda \quad (1)$$

式中, Δn 是材料的双折射率, d 为波片的厚度, λ 是光的波长。因此不同波长所必须采用的延迟量增加而透过率增加的现象。在可见光及近红外光波段, 不同波长, 透过率的增加程度有所不同, 也就是灵敏度有所不同。不同的掺杂, 灵敏度也所不同, 这些结果在我们多篇论文中发表了。日本人对 SiO_2 的气敏光学研究结果, 也与此相似。这些都是在厚膜基础上进行的。本文研究的是厚度在 $1\mu\text{m}$ 以下的膜, 也就是所谓二维薄膜。当膜厚在 $1\mu\text{m}$ 以下时, 气敏光学性能有了较大的不同, 即是本文的结果。这些奇异性质值得深入研究。峰值移动结果, 可作为光纤气敏传感器新的测试手段。现象的机理, 正深入探索中。

参 考 文 献

- 1 Eguchi K, Hashiguchi T, Sumiyoshi. Sensors and Actuators. 1990; (BI): 154
- 2 李文权, 郭斯淦, 郑顺敏 *et al.* 中国激光, 1992; 19(3): 209

作者简介: 郑顺敏, 男, 1937年9月出生。教授。中国光学学会理事, 广州光学学会名誉理事长。现从事气敏光纤传感及气敏光学研究。

收稿日期: 1994-10-31



迟片,所对应的双折射晶体材料厚度是不同的,这在实际应用中不很经济,尤其对复色光无能为力。本文根据复合波片理论^[2],以云母材料为例,给出在可见光波段 $0.48 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 内的消色差 $\lambda/4$ 波片。

二、理论分析

设延迟量分别为 δ_1 和 δ_2 的两波片组成复合片,两快轴的夹角为 α 。要得到圆起偏器, α 首先得满足^[2]

$$\cos 2\alpha = \text{ctg} \delta_1 \text{ctg} \delta_2 \quad (2)$$

而入射线偏光的振动方向与 F_1 轴(第一波片的快轴)的夹角 θ 满足

$$\text{tg} 2\theta = -\sin 2\alpha \cos \delta_2 / (\sin \delta_1 \sin \delta_2 - \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos 2\alpha) \quad (3)$$

又设在某一波长 λ_0 有延迟量分别为 180° 和 90° 的两个波片,由于在任何可见光范围内,云母的双折射率可近似为一常数^[3],则由(1)式可求得在波长 λ 的延迟量为

$$\begin{aligned} \delta_1 &= (\lambda_0/\lambda) \times 180^\circ, \delta_2 = (\lambda_0/\lambda) \times 90^\circ, \text{或} \\ \delta_1 &= 180^\circ - 2\Delta\delta, \delta_2 = 90^\circ - \Delta\delta \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $\Delta\delta = (1 - \lambda_0/\lambda) \times 90^\circ$ 。将(4)式代入(2)式化简得

$$\cos 2\alpha = -[1 - \text{tg}^2(\Delta\delta)]/2 \quad (5)$$

取 $\lambda_0 = 0.63 \mu\text{m}$, 利用(5)式可求出 λ_0 附近对应的 α 值(表1)。

Table 1 Calculated values of $\Delta\delta$ and α at the range of $0.5 \sim 0.78 \mu\text{m}$

$\lambda (\mu\text{m})$	0.50	0.55	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78
$\Delta\delta (\text{deg})$	-23.4	-13.1	-4.5	0	2.8	9.0	14.4	17.3
$\alpha (\text{deg})$	57.0	59.1	59.9	60	60.0	59.6	58.9	58.4

由表1可见,不同波长下对应的复合角 α 不同,但都有 $\alpha \approx 60^\circ$, 因此如取 $\alpha = 60^\circ$, 利用公式^[2]

$$\text{tg} \Delta = -\frac{(\sin \delta_1 \cos \delta_2 + \cos \delta_1 \sin \delta_2 \cos 2\alpha) \sin 2\theta - \sin 2\alpha \cos 2\theta \sin \delta_2}{(\sin \delta_1 \sin \delta_2 - \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos 2\alpha) \sin 2\theta + \sin 2\alpha \cos 2\theta \cos \delta_2}$$

便可计算出该复合片在不同波长下的复合延迟量,结果见表2。

Table 2 Complex delay Δ at different wavelength ($\alpha = 60^\circ$)

$\lambda (\mu\text{m})$	0.50	0.55	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78
$\Delta (\text{deg})$	85.4	89.3	90	90	90	89.7	89.0	88.1
$\Delta\Delta/\Delta (\%)$	5	0.8	0	0	0	0.3	1	2

由表2可见,取 $\alpha = 60^\circ$, 在波长 $0.5 \sim 0.78 \mu\text{m}$ 范围内,该复合片的最大偏差为5%,符合色差要求。而在 $0.55 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 波长范围内,该复合 $\lambda/4$ 波片,具有很好的消色差能力。

当然如取 λ_0 不同的值,可得到不同范围波长的消色差 $\lambda/4$ 波片,但基本原理是一致的。下面以云母波片为例,选取 $\lambda_0 = 6328 \text{\AA}$ (He-Ne 激光波长),采用电光调制补偿法精选 $\lambda/4$ 和 $\lambda/2$ 波片(误差为 $\pm 0.1^\circ$),进行实验研究。

三、实验测试

1. 实验原理

两偏光棱镜间放一推迟量为 δ 的波片,以单色光入射时,出射光强度表达式为^[1]

$$I = I_0[\cos^2(\theta_2 - \theta_1) - \sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2 \sin^2 \delta / 2] \quad (6)$$

式中, θ_1 和 θ_2 分别为两偏光镜 P 和 A 的振动方向与 δ 快轴的夹角。如令 $\theta_1 = 45^\circ$, (6)式可表为

$$I = I_0/2[1 + \sin 2\theta_2 \cos \delta] \quad (7)$$

由(7)式可得

$$|\cos \delta| = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (8)$$

式中, I_{\max} 和 I_{\min} 分别是检偏棱镜 A 出射光强的最大值和最小值。

当 $\delta = 90^\circ \pm \Delta\delta$ 时, $\Delta\delta$ 很小, 即出射光近似为圆偏振光, (8)式化为

$$\sin \Delta\delta = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (9)$$

2. 测试结果

利用上述对圆偏振光的探测原理, 应用到复合片的测量上。

实验装置如图 1, 被测样品是云母波片, 按上述的角度, 将 P 和 $C_1 - C_2$ 调整好。由于光栅单色仪有一定的偏振效应, 因此将退偏器 C' 和 A 连结在一起, 使出射光退偏。图中: S 为卤钨灯, L_1, L_2 为会聚透镜, P, A 为偏光镜, C_1, C_2 为样品波片, C' 为云母退偏器, G 为光栅单色仪, D 为光电探测器, R 为自动记录仪。

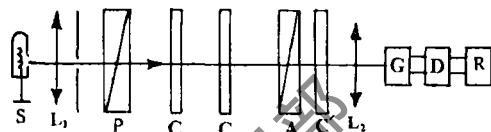


Fig. 1 Experimental setup

测试时由单色仪改变不同的波长 λ , 转动检偏器, 由自动记录仪记录下最大光强 I_{\max} 和最小光强 I_{\min} 。根据(9)式可求出消色差 $\lambda/4$ 片在各种波长下的偏差 $\Delta\delta$, 结果见图 2。图中 $\Delta - \lambda$ 曲线为实验曲线, $\delta - \lambda$ 曲线是由(4)式描出的在 $0.63\mu\text{m}$ 的 $\lambda/4$ 色散曲线。

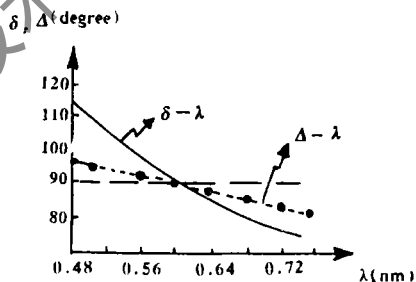


Fig. 2 Measuring results of achromatic $\lambda/4$ waveplate

实验误差的主要来源是 C' 的退偏效果差引起的, 如采用消色差退偏器, 效果会改善; 另外, 两样品间及样品内的多光束干涉^[4,5] 造成光强随波长变化振荡, 是固有误差。

实验表明, 这种消色差波片在可见光波段 $0.48 \sim 0.76\mu\text{m}$ 内的偏差在 6% 以内。

参 考 文 献

- 1 姚启均. 光学教程. 北京: 高等教育出版社, 1981: 301, 306 ~ 308
- 2 李国华, 苏美开, 宋连科. 复合延迟片研究. 曲阜师范大学学报, 1990; 16(3)
- 3 Wahistrom E E. Optical Crystallography. New York: 1979; 5, 328
- 4 Holmes D A. J O S A, 1964; 54: 115
- 5 Holmes D A. J O S A, 1964; 54: 1340