

# 用单 1/4 波片法测量晶体消光比的研究

刘训章 黎高平 杨照金 宗亚康 孔 军

(国防科工委光学计量一级站 西安 710065)

杨明根

(建行内江市分行计算机中心 内江 641000)

**提要** 详细分析了晶体消光比和应力双折射相位差的关系,提出了用单 1/4 波片法测量晶体消光比,推导出了计算公式,并对不确定度进行了分析,给出了对比实验值,证明了该方法较目前常用的方法具有更小的测量不确定度。

**关键词** 单 1/4 波片法,应力双折射,晶体消光比,相位差

消光比是激光晶体的一个重要特性参数,它反映了晶体内部应力双折射的大小。目前采用偏光分析法来测量,其值用退偏度来表征。消光比值测量的准确性直接影响晶体的研制、生产和应用。目前所报道的消光比测试系统<sup>[1-3]</sup>,都是直接利用所测光强值来计算,由于光源的波动等原因,测量不确定度都很高。

既然消光比是晶体内部应力双折射的反映,则消光比和应力双折射具有联系,并且可用和测应力双折射有关的方法来测量。本文从理论上分析了两者之间的关系,得出了定量的解析表达式,据此提出了用单 1/4 波片法测量晶体消光比,并分析了两者的测量不确定度。

## 1 原 理

### 1.1 消光比测量原理

常用的消光比测试方法如图 1 所示。其测试原理为:当起、检偏器的偏振轴正交时,放入样品并绕光轴旋转,使探测器输出的信号最大,即样品的快、慢轴分别平行于起、检偏器的偏振轴,停止转动样品,此时信号为  $I_{\perp}$ ;将检偏器转动  $\pi/2$ ,使起、检偏器的偏振轴平行,即样品的快轴或慢轴平行于起、检偏器的偏振轴,此时信号为  $I_{\parallel}$ 。则消光比定义为

$$E_s \cdot R = 10 \lg I_{\parallel} / I_{\perp} \quad (1)$$

### 1.2 单 1/4 波片法

该方法广泛用于测量光学材料的应力双折射相位差,其方法如图 2 所示。

测试原理为:使起、检偏器的偏振轴正交,放入 1/4 波片,使它的快轴和慢轴分别与起、检偏器的偏振轴平行;放入样品并绕光轴转动,当探测器输出信号最小时,再转  $\pi/4$ ,即样品的快轴和慢轴分别与起、检偏器的偏振轴成  $\pi/4$ ,此时经过 1/4 波片的出射光为线偏振光;转动检偏器,使探测器输出信号为最小,设检偏器转过的角度为  $\alpha$ (当  $\alpha > \pi/2$  时,取为  $\pi - \alpha$ ),经过分析,易知  $\alpha$  为应力双折射相位差的  $1/2$ <sup>[4]</sup>。

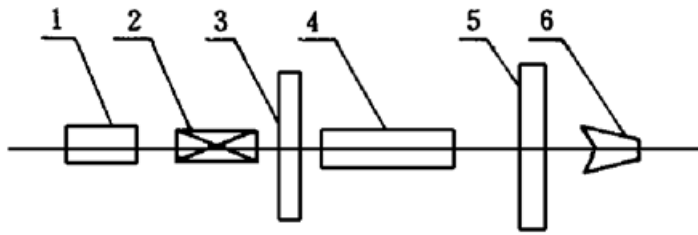


图 1 常用测试方法原理图

1: 激光器; 2: 扩束器; 3: 起偏器;  
4: 样品; 5: 检偏器; 6: 探测器

Fig. 1 Scheme of the conventional measurement system

1: laser; 2: beam expander; 3: polarizer;  
4: sample; 5: analyzer; 6: detector

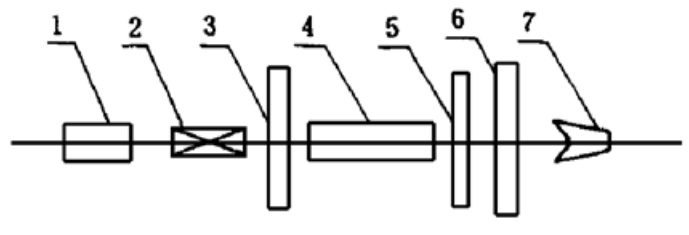


图 2 单 1/4 波片法原理图

1: 激光器; 2: 扩束器; 3: 起偏器;  
4: 样品; 5: 1/4 波片; 6: 检偏器; 7: 探测器

Fig. 2 Scheme of the method with a single

1/4 wave plate used

1: laser; 2: beam expander; 3: polarizer;  
4: sample; 5: 1/4 wave plate; 6: analyzer; 7: detector

### 1.3 消光比和应力双折射相位差的关系

1.1 节中的测量原理用电矢量表示为图 3 所示。 $y$  为起偏器偏振轴,  $x$  为检偏器偏振轴,

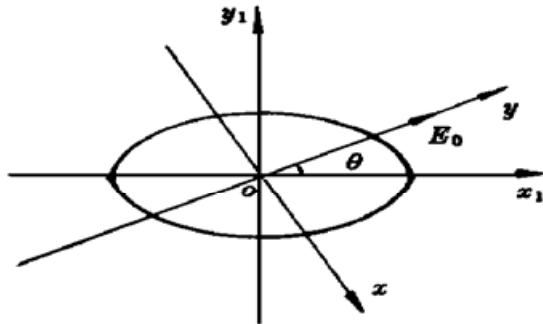


图 3 电矢量图

Fig. 3 Configuration of the electric vector

$M(x_1), N(y_1)$  分别为晶体的快、慢轴;  $E_0$  为经过起偏器后的电矢量振幅。

从起偏器出射的线偏振光经样品后成为椭圆偏振光。结合图 3 和 2.1 节可知,  $I_{\perp}$  即为  $x$  方向上的光强最大值,  $I_{\parallel}$  为当  $x$  方向具有最大值时  $y$  方向上的光强值。设晶体的  $M$  轴(或  $N$  轴)与起偏器的偏振轴的夹角为  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq \pi/2$ )。线偏振光  $E_0$  经过样品后变为振动相互垂直且相位差为  $\Phi$  的线偏振光, 其合成电矢量为椭圆, 当以  $x_1 y_1$  为坐标系时(下文均在此坐标系下讨论), 其方程可写为

$$\frac{x_1^2}{E_0^2 \cos^2 \theta} + \frac{y_1^2}{E_0^2 \sin^2 \theta} - \frac{2x_1 y_1}{E_0^2 \sin \theta \cos \theta} \cos \Phi = \sin^2 \Phi \quad (2)$$

在  $x_1 y_1$  的坐标系中,  $x$  向的方程为

$$y_1 = -\cot \theta x_1 \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式易得到

$$x_1^2 = \frac{E_0^2 \sin^2 \Phi}{1/\cos^2 \theta + \cos^2 \theta / \sin^4 \theta + 2 \cos \Phi / \sin^2 \theta} \quad (4)$$

$$y_1^2 = \frac{E_0^2 \sin^2 \Phi}{1/\sin^2 \theta + \sin^2 \theta / \cos^4 \theta + 2 \cos \Phi / \cos^2 \theta} \quad (5)$$

则  $x$  向的光强为

$$I_{\perp} = E_x^2 = x_1^2 + y_1^2 \quad (6)$$

将(4), (5)两式代入(6)式有

$$I_{\perp} = \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \Phi \frac{\sin^2(2\theta)}{2 + \sin^2(2\theta)(\cos \Phi - 1)} \quad (7)$$

对(7)式进行讨论:

当  $\Phi = 2k\pi$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) 时, 此时不论  $\theta$  为何值,  $I_{\perp}$  均为零, 且(2)式成为

$$y_1 = \tan \theta x_1 \quad (8)$$

这是  $y$  向的方程, 即线偏振光通过样品后仍为线偏振光, 且偏振方向和原方向相同。根据消光

比定义可知此时样品的消光比为无穷大。实测值为系统的消光比值。

当  $\Phi \neq 2k\pi (k = 0, 1, 2, \dots)$  时, (7) 式两边对  $\theta$  求导并令  $\partial I_{\perp} / \partial \theta = 0$ , 则得到  $\theta = 0$  或  $\pi/4$ , 当  $\theta = \pi/4$  时,  $I_{\perp}$  出现极大值, 符合消光比测量原理, 将其代入(7) 式得

$$I_{\perp} = \frac{1}{2} E_o^2 \sin^2 \Phi \frac{1}{1 + \cos \Phi} \quad (9)$$

根据  $I_{\parallel} + I_{\perp} = E_o^2$ , 得到

$$I_{\parallel} = \frac{1}{2} E_o^2 \sin^2 \Phi \frac{1}{1 - \cos \Phi} \quad (10)$$

则消光比为

$$E_x \cdot R = 10 \lg I_{\parallel} / I_{\perp} = 20 \lg \cot(\Phi/2) = 20 \lg \cot \alpha \quad (11)$$

(11) 式表明晶体的消光比直接和应力双折射相位差  $\Phi$  联系在一起, 只要测出其应力双折射相位差  $\Phi$  就可利用(11) 式求出晶体的消光比。从 2.2 节中知单 1/4 波片法测量的就是晶体的应力双折射相位差, 因此, 就可用该方法来测量晶体的消光比。

## 2 测量结果和不确定度分析

选用成都 208 厂生产的 YAG 棒作为样品, 利用同样的设备用两种方法进行了测量, 结果如表 1 所示。

表 1 两种方法的测试结果

Table 1 The testing results of the two methods

Measuring number		1	2	3	4	5	Average/dB	Reproducibility/dB
$E_x \cdot R$ /dB	the method usually used	35.04	34.87	35.17	35.26	35.32	35.18	0.18
	1/4 wave plate method	35.21	35.08	35.15	35.01	35.13	35.12	0.08

可见单 1/4 波片法具有更好的重复性, 因而具有更低的测量不确定度。这是因为单 1/4 波片法直接引起测量不确定度的只有  $\Delta\alpha$  角, 引起的不确定度为

$$\Delta E_x \cdot R = -40 / [\ln 10 \cdot \cot(2\alpha)] \cdot \Delta\alpha \quad (12)$$

而常用的方法中引起测量不确定度的有  $\Delta I_{\parallel}$ ,  $\Delta I_{\perp}$ , 引入不确定度为

$$\Delta E_x \cdot R = 10 / \ln 10 \cdot \sqrt{(\Delta I_{\perp} / I_{\perp})^2 + (\Delta I_{\parallel} / I_{\parallel})^2} \quad (13)$$

## 参 考 文 献

- 1 Li Xiaowei, Li Meiyang. Improvement of the tester of extinction ratio. *Lasr Journal* (激光), 1978, **5**(3): 20~ 21 (in Chinese)
- 2 Li Guohua, Zhao Mingshan, Wu Fuquan *et al.*. Study of a measurement system for high extinction ratio. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1989, **17**(1): 51~ 53 (in Chinese)
- 3 Liu Xunzhang, Li Gaoping, Wu Baoning *et al.*. Study of an instrument with wavelengths for measuring the extinction ratio of laser crystal. *J. Appl. Opt.* (应用光学), 1995, **16**(6): 14~ 16 (in Chinese)
- 4 Su Datu ed.. *Technology of Optical Measurement*. Beijing: The Press of Beijing University of Science and Technology, 1996. 177~ 185 (in Chinese)

## Study of the Measurement of Crystal Extinction Ratio by the Use of a Single 1/4 Wave Plate

Liu Xunzhang Li Gaoping Yang Zhaojing Zong Yakang Kong Jun  
(First Grade Station of Optical Metrology, National Defence Committee of Science  
and Technology, Xi'an 710065)

Yang Minggen

(The Computer Center of Neijiang Construction Bank, Neijiang, 641000)

**Abstract** The relation of the crystal extinction ratio and stress-induced birefringence phase difference are analyzed in details. The method making use of a single 1/4 wave plate for measuring crystal extinction ratio is reported. The computational formula and testing results are given. The uncertainty is analyzed and it shows that the measuring uncertainty of this method is less than that of the method usually used.

**Key words** single 1/4 wave plate, stress-induced birefringence, crystal extinction ratio, phase difference

## 调 Q Cr·LiSAF 可调谐激光器腔内二次谐波和 三次谐波获得成功

最近中国科学技术大学高等研究院在用国产 Cr·LiSAF 激光晶体研制差分吸收雷达所需的 Q 开关激光器过程中,将 BBO 晶体置于腔内采用双程倍频技术获得了激光的二次谐波,其调谐范围为 420~460 nm。当波长为 446.3 nm 时,激光器振荡阈值为 42.3 J,获得了 15 mJ 的能量输出,输出能量涨落为 3%,脉冲半宽度为 40 ns,激光线宽小于 0.1 nm。激光器为平凹腔,腔长 80 cm,凹面镜曲率半径为 4 m,对基波全反射,平面腔镜对激光基波和谐波全反射。腔内 45°折转平面镜对基波全反射,对二次和三次谐波为高透过,作为谐波输出之用。所用 Cr·LiSAF 晶体由中国科学院安徽光机所提供,尺寸为  $\phi 5 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ ,两端面镀增透膜,由单灯泵浦, KD\*P 晶体作 Q 开关。将另一块 BBO 晶体同时置于腔内,获得 300 nm 附近的三次谐波输出,能量超过 0.5 mJ,此时 450 nm 附近的二次谐波也同时输出。

Cr·LiSAF 激光器在 900 nm 附近波长的二次谐波和三次谐波分别是检测大气污染物 NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的差分吸收雷达所需要的波长,可以预计双波长调 Q Cr·LiSAF 激光器将在大气污染检测的差分吸收雷达方面获得良好的应用前景。

中国科技大学高等研究院  
陈长水 王佩琳 谢建平

收稿日期: 1999-05-28; 收到修改稿日期: 1999-06-15