

文章编号: 1001-3806(2007)01-0071-03

## 高消光比测试系统衰减器的研究

穆廷魁, 李国华\*, 彭捍东

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了提高消光比测试系统的测试精确度, 利用偏振干涉原理研究设计了一种用于此系统的衰减器, 并对它的工作机理进行了详细分析。此衰减器主要包括 3 个偏光棱镜, 1 个  $\lambda/4$  波片 ( $\lambda = 632.8\text{nm}$ ), 两个步进电机。它可以对光强度进行连续调节, 其调节范围在  $0\sim 60\text{dB}$  之间, 插入损耗小于  $1.5\text{dB}$ , 消除了以往更换固定衰减量的衰减器带来的误差。此光衰减器用在高消光比测试系统中可以得到优于  $10^{-7}$  量级的消光比, 它不仅可以用于高消光比测试系统, 同样可用于其它光学测试系统。当用消色差波片代替  $\lambda/4$  波片时, 它能对多种波长的光进行衰减, 扩大测试系统对光谱区的使用范围。

**关键词:** 光学器件; 衰减器; 偏光干涉; 消光比; 衰减量

**中图分类号:** O436.3      **文献标识码:** A

### Study of the attenuator for the high extinction ratio testing system

MU Ting-kui, LI Guo-hua, PENG Han-dong

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

**Abstract** In order to improve the measuring accuracy of the intelligent high extinction ratio measuring system, the polarization interference principle is used to study and design an attenuator used in the system, and the attenuator's principle is analyzed carefully. The attenuator is consisted of three polarization prisms, one  $\lambda/4$  waveplate ( $\lambda = 632.8\text{nm}$ ), and two stepper motors. It can continuously adjust intensity of light within the range of about  $0\sim 60\text{dB}$  and the insertion loss of less than  $1.5\text{dB}$ , so the aberration generated by changing attenuator with fixing attenuation value can be canceled effectively. If the attenuator is used to measure the extinction, the extinction ratio better than  $10^{-7}$  can be obtained. The attenuator can be used not only in the high extinction ratio measuring system, but also in other optical measuring systems. The attenuator can adjust kinds of wavelength lights with achromatic plate in place of  $\lambda/4$  waveplate, so the useful range can be expanded.

**Key words** optical devices; attenuator; polarization interference; extinction ratio; attenuation value

### 引 言

光衰减器是用来调节光的强度的, 是为了保障探测器良好工作的重要光无源器件, 大部分光学测试系统都会用到衰减器, 它在光学测量、激光技术中起到了重要的作用。在高消光比测量中, 当用探测器探测光强时, 它有一个线性使用范围, 为使其工作在线性范围之内, 必须借助衰减器才能达到测试目的。针对以前消光比测试以手动式调节透射比为主的缺憾, 作者研究的衰减器是计算机辅助的自动化系统, 它已用于高消光比测试系统<sup>[1]</sup> (该系统已经通过国家计量局定标) 中。对于其它消光比的测量工作曾有人做过<sup>[2~5]</sup>, 但是其方法存在着精度不高或是操作复杂, 最高消光比仅达到  $10^{-5}$  量级。本文中设计的衰减器特点是标

准线偏系统 (即前后两个偏光镜) 的引入, 可以保证入射到待测棱镜的光是标准线偏光。该衰减器是利用棱镜和波片组合实现对光强度的连续调节, 避免因更换衰减量固定的衰减器带来的误差, 由于此衰减器的各个组成部分都是作者所在单位生产的高精度器件, 为衰减量的准确性提供了可靠保证, 由该系统配合测出的消光比达到  $10^{-7}$  量级, 满足各种测试系统的需要, 它在提高消光比测试精度方面起到重要作用。当在衰减器中用消色差波片<sup>[6,7]</sup> 代替  $\lambda/4$  波片时, 可实现对很多种光进行衰减。

### 1 衰减器的工作原理

图 1 所示为消光比测试系统的原理图, 待测棱镜的消光比定义为: 
$$\rho_e = 10 \lg(T_2/T_1) \quad (1)$$
 式中,  $T_1$  是主消光方向的透射比,  $T_2$  为主透射方向的透射比。图中虚线部分即为 3 个偏光棱镜、一个  $\lambda/4$  波片 ( $\lambda = 632.8\text{nm}$ )、两个步进电机组成的连续自动可调衰减系统。在衰减器中,  $P_2$  的主透光方向与  $\lambda/4$

作者简介: 穆廷魁 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事偏光检测和非线性激光光谱方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: gh11@163.com

收稿日期: 2005-12-05; 收到修改稿日期: 2006-02-20

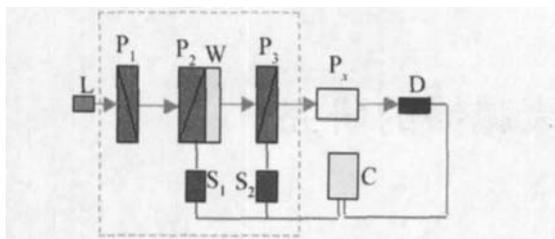


Fig 1 The principle of the high extinction ratio measuring system  
L—laser P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>x</sub>—polarizer W—waveplate D—detector S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>—stepper motor C—computer

(632.8nm)波片的快(或慢)轴的夹角为45°,它们固定在一起形成一个圆偏器<sup>[8,9]</sup>,由电脑控制步进电机旋转圆偏器,从而连续改变从圆偏器出射的光强,即达到连续可调的目的。此系统的特点是偏光镜P<sub>1</sub>,P<sub>3</sub>能提供标准线偏振光,圆偏器保证了出射光的均匀稳定性。

从其振幅变化出发来分析各个器件的透射光强,光经过衰减器的振幅分布见图2,其中P<sub>1</sub>和P<sub>2</sub>的夹角

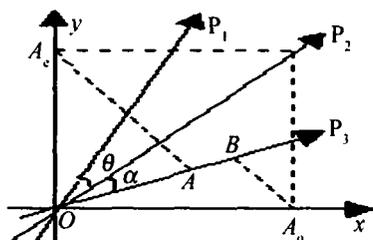


Fig 2 Amplitude distribution of light cross attenuator

是 $\theta$  P<sub>2</sub>和P<sub>3</sub>的夹角为 $\alpha$ 。波片的快慢轴方向分别是 $x$ (o光), $y$ (e光)方向。激光器发出的光经过P<sub>1</sub>后变成振幅为 $A_1$ 的线偏振光,经过P<sub>2</sub>光的振幅为<sup>[10]</sup>:

$$A_2 = A_1 \cos \theta \quad (2)$$

经过波片后它被分解为振动方向相互垂直的两束线偏振光: o光和 e光;它们可以合成为圆偏振光,其光强度随夹角 $\theta$ 的改变而改变,经过P<sub>3</sub>后两束光的振幅分别为:

$$OA = A_e \cos \left( \frac{\pi}{4} - \alpha \right) \quad (3)$$

$$OB = A_o \sin \left( \frac{\pi}{4} - \alpha \right) \quad (4)$$

它们满足相干条件,则从P<sub>3</sub>出射的相干叠加的光强为:

$$I_3 = I_2 \left[ \cos^2 \alpha - \sin 2 \left( \frac{\pi}{4} - \alpha \right) \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right] \quad (5)$$

式中, $I_2 = A_2^2 = I_1 \cos^2 \theta$ 从上式可看出, $I_3$ 与 $\theta$ 和 $\alpha$ 都有关系,而在测试过程中一旦牵扯到两个以上的变量都会使器件的调节变的复杂且不方便,势必会影响实验的精确度,所以要对变量进行简化以利于测试,针对上式得到 $\theta$ 和 $\alpha$ 的关系,对它们的取值进行分析。

在高消光比测试系统中,光强的分布是基于偏振光的干涉来确定的,利用偏光干涉理论分析(5)式,并将 $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$ 相位差 $\varphi = \pi/2$ 代入(5)式可知,无论P<sub>2</sub>,P<sub>3</sub>主透射方向间的夹角 $\alpha$ 如何,从P<sub>3</sub>出射的光强都为:

$$I_3 = (I_1 \cos^2 \theta) / 2 \quad (6)$$

即从P<sub>3</sub>出射(即入射到待测晶体P<sub>x</sub>)的光强主要取决于夹角 $\theta$ 而与夹角 $\alpha$ 无关,因此在调节衰减器的时候,不必考虑P<sub>2</sub>和P<sub>3</sub>的主透光方向的关系。只要利用步进电机连续改变 $\theta$ (即改变P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>的相对位置),就可以连续改变从P<sub>3</sub>出射的光强度,从而达到不同角度下对光强度进行衰减的目的。

## 2 衰减器的调节与定标分析

在高消光比测试系统中,各个元件的定位对提高系统的测试精度至关重要,同时对衰减器定标做准备,尤其是在高消光比测量系统中必须做好衰减器的定标工作。

### 2.1 衰减器的调节

根据以上分析,可进行如下调节:(1)当P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>的主透光方向相互平行或接近平行时,衰减器的透射光强为极大值 $I_3(\theta_1)$ ,此时要求P<sub>3</sub>,P<sub>x</sub>的主透光方向互相垂直,才使入射到探测器的光强落在其线性范围以内,则探测器从P<sub>x</sub>探测的出射光强为极小值 $I_x(\theta_1)$ ;(2)当P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>的主透光方向相互垂直或接近垂直时,衰减器的透射光强为极小值 $I_3(\theta_2)$ ,此时要求P<sub>3</sub>,P<sub>x</sub>的主透光方向互相平行,以利于提高信噪比和测试精度,也能使入射到探测器的光强落在线性范围以内,则探测器从P<sub>x</sub>探测出的出射光强为极大值 $I_x(\theta_2)$ 。

### 2.2 衰减器的定标

从上面的分析可以算出高消光比测试系统的消光比值为:

$$\rho_e = 10 \lg \left[ \frac{I_x(\theta_2)}{I_x(\theta_1)} \cdot \rho_0 \right] \quad (7)$$

上式也表明衰减器在高消光比测试系统中占有重要地位,需要精确定标才行。从上面的分析可也以计算出衰减器的衰减值为:

$$\rho_0 = I_3(\theta_1) / I_3(\theta_2) \quad (8)$$

一般情况下衰减器的最大衰减量即可很好地满足实验的要求,而且可以省去操作中其它不必要的麻烦,此时的调节也比较精确。根据实际需要,如果最大值不适合测试系统的要求,可以针对不同的 $\theta$ 值来确定衰减量。

## 3 实验结果及分析

图3为不同调谐角 $\theta$ 与衰减器的透射比关系曲线,最大与最小透射比完全符合衰减要求,代入(8)式

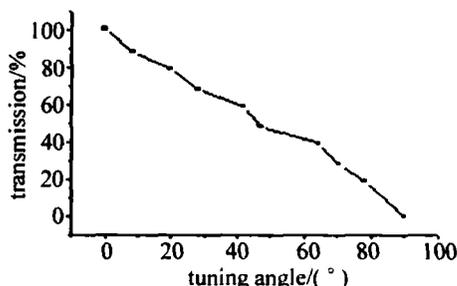


Fig 3 Curve of the relation between different tuning angle  $\theta$  and transmission of attenuator

计算可以得到最大与最小衰减量,从而得出消光比的测量范围。

在不同夹角  $\theta$  下,对相同的棱镜和不同的棱镜进行了多次实验测量,表 1 为得到的衰减参量,实验中采用波长为 632.8nm 的激光束。由表中数据可见,此衰

Table 1 The table of decrmnt param eter

angle $\theta / (^{\circ})$	0	8.5	28.5	64.5	78.0	90.0
decrmnt/dB	0	5.7	15.4	30.5	51.2	60.0

减器的衰减量重复性很好,插入损耗在 1.5dB 以下,它的衰减精度达到其衰减量的  $\pm 0.1$  倍,满足消光比测试精度的要求。将上述数据代入 (7)、(8) 两式,通过计算得到优于  $10^{-7}$  量级的消光比。在实验中采用的步进电机的步进角为  $0.25^{\circ}$ ,在编制计算机程序时将角度的步进转化为衰减量的步进可以优化衰减量的测量精确度。

#### 4 结 论

所设计的衰减系统是针对高消光比测试系统的,由实验与理论分析可见,当使用此衰减系统测量消光比时,得到的消光比优于  $10^{-7}$  量级,比其它一些测试方法要高。此衰减器的衰减范围达到  $0 \sim 60$  dB,在使用中只须使用最大衰减量即可达到测量目的,而且它能够提供给待测棱镜标准线偏振光,为准确测量消光比提供保证。当在衰减器中用消色差波片代替  $\lambda/4$  波片时,可实现对很多种光进行衰减,以达到使用多种波长的需求,这将在以后的工作中进一步改进以扩大

其使用范围。该衰减器不仅可以用于高消光比测试系统中,作为一种连续可调衰减器同样可用于其它光学测试系统。

#### 参 考 文 献

- [1] ZHANG JB, LI G H, ZHAO M Sh Study on the feasibility about automatic measurements of extinction ratio [ J ]. Journal of Optoelectronics Laser, 1995, 12(6): 343~ 347( in Chinese).
- [2] WANG Zh B, LI G H, LU Sh L *et al*. Experimental study of the extinction ratio automatic measuring system [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 2000, 5(5): 415~ 418( in Chinese).
- [3] LIU X Zh, LI G P, WU B N *et al*. Study of an instrument with three wavelengths for measuring the extinction ratio of laser crystal [ J ]. Applied Optics, 16(6): 14~ 16( in Chinese).
- [4] LIU X Zh, LI G P, YANG Zh J *et al*. Study of the measurement of crystal extinction ratio by the use of a single  $1/4$  wave plate [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 1999, 26(7): 599~ 601( in Chinese).
- [5] WANG G H, WU F Q. Effect of magnetic circular dichroism on Faraday rotator's extinction ratio [ J ]. Laser Technology, 1999, 23(6): 350~ 352( in Chinese).
- [6] ZHENG Ch H, SONG L K, LIANG R R. Optimization design scheme for three in one composite achromatic  $\lambda/4$  wave plate [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(6): 662~ 664( in Chinese).
- [7] XUE D, LI G H, HAO D Zh *et al*. Achromatic analysis of the two in one composite  $1/4$  wave plate [ J ]. Laser Technology, 2004, 28(2): 184~ 185( in Chinese).
- [8] HAO D Zh, WU F Q. Measurement of the phase retardation of wave plate using beam splitting and differential method [ J ]. Laser Technology, 2005, 29(1): 80~ 81( in Chinese).
- [9] WANG W, LI G H, WU F Q *et al*. A new method of measuring wave plate phase delay and fast axis azimuth [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 2003, 30(12): 1121~ 1123( in Chinese).
- [10] SHI Sh X, ZHANG H X, LIU J S. Physical optics and applied optics [ M ]. Xi'an Xidian University Press, 2000. 230~ 234( in Chinese).

• 简 讯 •

### 《激光技术》栏目更新啦!

根据《激光技术》第八、九届编委会的决议,为了更好地报道当前光学及其相关领域的研究重点和热点,本刊对栏目进行了调整,现设有专栏如下:综述与评述;激光物理与激光器件;激光材料与光学元件;光电对抗与强激光技术;光通信与光信息技术;光生物学与医学光子学;激光与光电子技术应用;简讯。包括激光器件、激光材料、非线性光学、超快光学、光通信、激光物理、激光测量与光传感技术、全息、光电对抗、信息光学、薄膜、集成光学与光子晶体、光存储、生物医学光子学、纳米光学技术、激光大气传输与遥感、新型光子器件、激光加工等内容。欢迎投稿! 欢迎订阅!