

消光比自动测试系统的实验研究

王召兵¹ 李国华¹ 陆书龙¹ 孟祥省²

(曲阜师范大学¹ 激光所,² 物理系 曲阜 273165)

提要 设计并建立了一套消光比自动测试实验系统,该系统实现了光、机、电、算一体化的精密测量。

关键词 偏光镜,消光比,调制,偏振光

1 引 言

消光比的测量属偏光参数测量的部分内容,主要是对偏光镜本身的工作参数进行精确定标,消光比测量的精确程度将影响到利用偏光镜对各种光辐射的偏振性质进行测量和鉴别的检测精度,以及利用偏光镜对其他具有偏光变换性质的光学器件和仪器系统的偏振响应的检测和分析。随着激光技术和偏振光应用的不断发展,消光比的精确测量显得更为重要。

对于偏光镜消光比的测量人们曾做过一些工作,主要有双镜测试法及高消光比测试法等^{1,2},但是上述方法存在着精度不高或是操作繁琐的不足。本文在传统的消光比测量的基础上提出了进一步提高精度的自动化测试系统,利用计算机进行步进电机的驱动和数据的采集与处理,克服了人工操作的麻烦和精度不高的缺点,实验操作简单、精度高,实现了光、机、电、算一体化的精密测量,并取得了良好的实验结果。

2 理论分析

2.1 消光比的一般测试方法^{3,4}

通常偏光镜的消光比定义为

$$\rho = T_2/T_1 \quad (1)$$

其中, T_1 为待测偏光镜在主透射方向的透射比, T_2 为待测偏光镜在主消光方向的透射比,通常 $T_1 \gg T_2$ 。显然,如果入射光是完全偏振光,则旋转待测偏光镜测量其主截面与入射光振动方向平行和垂直时的主透射光强,即可得到 T_1 和 T_2 ,从而定出待测偏光镜的消光比。

实验原理如图 1 所示。通过调整 and 旋转起偏器 P ,使得从 P 透射出的光强强度最大。然后引入待测棱镜 P_x 。以光线为轴不断地旋转,通过探测器的读值可以得到两个极值,即极大值 T_1 和极小值 T_2 。根据定义 $\rho = T_2/T_1$,即可测定待测棱镜的消光比。

上述直接测量很难获得较高灵敏度和精度。

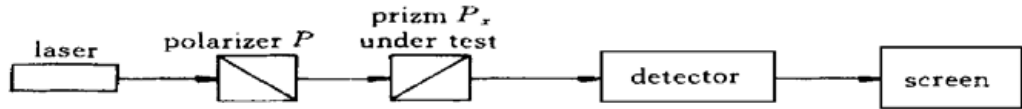


图 1 消光比测量的原理简图

Fig. 1 Schematic diagram of measuring extinction ratio

2.2 消光比自动测试系统

为了提高测量灵敏度和精度,我们提出了消光比自动测试方法,即在起偏镜和样品之前加一可变衰减器(由起偏镜 P_1 和圆起偏镜 P_2 组成),如图 2 所示。由两偏光镜 P_1, P_2 及 $1/4$ 波片构成可变光强圆起偏器,本实验中衰减倍数可达 10^{-5} ,即最大透过光强和最小透过光强之比为 10^5 ,这样可保证待测镜最大与最小透射光强都落在探测器的线性范围之内,待测镜透射光强可由下式表示

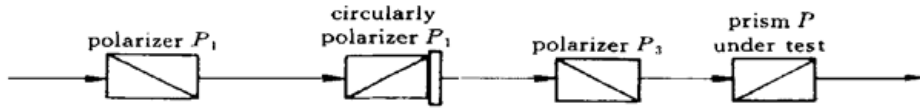


图 2 改进的消光比测量系统

Fig. 2 Schematic diagram of improved system for measuring extinction ratio

$$I = I_0 T_2(\theta) T_3 (T \cos^2 \alpha + T' \sin^2 \alpha) \quad (2)$$

$$T_2(\theta) = T_2 \cos^2 \theta + T_2' \sin^2 \theta \quad (3)$$

式中 I_0 为圆起偏镜 P_2 的入射光强, $T_2(\theta)$ 为 P_2 的透过率, θ 为起偏镜 P_1 与 P_2 主透射方向的夹角, T_2 与 T_2' 为 P_2 的极大与极小透过率,即 P_2 的最大衰减比为 $\rho' = T_2'/T_2$, T_3 为起偏镜 P_3 的透过率,同理 T 及 T' 分别为待测偏光镜 P 的极大及极小透过率, α 为 P_3 与 P 主透射方向的夹角。由(3)式可知,对应不同的 θ 值有不同的 $T_2(\theta)$,因此可测定可变衰减器的衰减曲线,当选取的 P_1, P_2 的最大衰减倍数更高时($< 10^{-7}$),可以选择适当的 θ 值,满足对不同的待测镜进行测量,但此时测试系统对环境电磁干扰及电源稳定性等将提出更高的要求。作为该研究的阶段性工作,目前我们采用的是最大衰减倍数,这主要是受软件编程等方面的限制,在随后的研究中将作进一步的完善,减小偏光镜转动步距(实验中为 $0.9^\circ/\text{步}$),选用精度更高的可变衰减器,修改程序实现某一 θ 角时测量,以达到更高的测量精度。

测量时,调整圆起偏镜 P_2 的位置,使其透射光强最小,即 $T_2(\theta)$ 取极小值 T_2' ,调整起偏镜 P_3 的位置使其主透射方向与待测偏光镜 P 主透射方向平行,测出通过待测镜 P 的极大透射光强 I_{\max} ;然后再调整圆起偏镜 P_2 的位置,使其透射光强最大,即 $T_2(\theta)$ 取极大值 T_2 ,与之相对应,调整起偏镜 P_3 的位置使其主透射方向与待测偏光镜 P 主透射方向垂直,测出通过 P 的极小透射光强 I_{\min} 。从而就可以计算出待测偏光镜 P 的消光比

$$\rho = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \rho' \quad (4)$$

3 实验及结果

3.1 测试装置

测试装置如图 3 所示。该系统用 He-Ne 激光器做测试光源,波长为 632.8 nm 。激光经过两反

射镜后,射入可变衰减器(由 P_1 和 P_2 组成),克服了传统衰减片衰减倍数一定,有时需多个不同衰减倍数的衰减片,且手动调节繁锁的缺点。经过起偏镜 P_3 后准圆偏光变为偏振方向可变的线偏光。根据材料力学可知,如果待测偏光镜表面受到挤压,就会在其内部产生一种应力,使晶体的内部结构发生微小变化,从而会影响到偏光镜消光比的测试值。为了消除这方面的不利因素,我们把待测镜平放于载物台,而让起偏镜 P_3 绕轴线旋转以达到消光和通光的效果。由于理论设计中采用了彼此消光的方法,即 P_1, P_2 透光时, P_3, P 消光, P_1, P_2 消光时, P_3, P 透光,从而使到达探测器的光强起伏不大,探测器可在线性范围内工作,所以经待测偏光镜 P 后,光强极弱,这给光信号的接收带来一定的困难,为此我们采用光电倍增管作探测器,将光信号转变为电信号。同时为了减少杂散光的影响,提高测量的信噪比,该系统采用相敏检测,在偏振镜前放置一斩光器,由斩光器斩光并与锁相放大器和光电倍增管配接,从而使系统具有很高的探测灵敏度。最后由微机进行 A/D 转换,使模拟量转换成数字量进行数据处理且自动显示,并由计算机控制步进电机来驱动圆起偏器 P_2 和起偏器 P_3 ,从而使操作方便,且提高了转动角度的准确性,实现了智能化自动测量。

3.2 测试过程

分别打开激光器、斩光器、锁相放大器的电源。考虑到本测试系统探测器响应时间小于 5 ms,所以斩光器的斩光频率选用 190 Hz 左右,根据测试程序中设定的 0~ 190 mV 的测量范围,选取锁相放大器的放大倍数为 100,灵敏度为 1000 mV,预热 10 min。

开启计算机,调出步进电机驱动程序和数据采集程序。

打开步进电机的电源,运行驱动程序,根据锁相放大器数字表和模拟表显示的数值,驱动步进电机,确定偏光镜 P_2 的初始位置,使之与偏光镜 P_1 处于消光状态,运行数据采集程序,根据程序提示进行操作,放置待测偏光镜于载物台上,便可进行自动测试并显示测试结果。

3.3 实验结果

利用该系统对不同型号偏光镜的消光比进行测试,均获得比较满意的测量结果,消光比都优于 10^{-6} ,实现了设计要求,测量结果如表 1。

表 1 不同棱镜的消光比测量值

Table 1 Experimental results of extinction ratio for different prism

Sample number	1#	2#	3#	4#
Extinction ratio ρ	2.95×10^{-6}	3.83×10^{-6}	1.68×10^{-6}	6.74×10^{-6}

我们还对同一型号的偏光镜进行多次测试,测量结果如表 2。

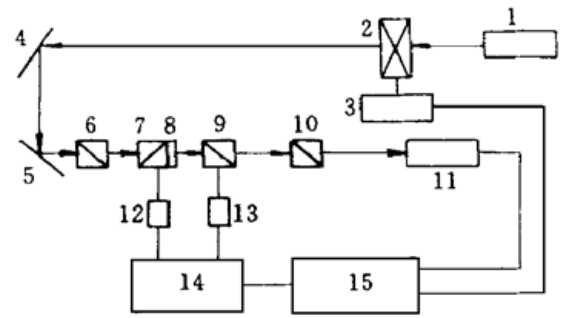


图 3 消光比自动测量系统的实验装置图

- 1: He-Ne 激光器; 2: 斩光器; 3: 斩光器调制电源; 4, 5: 平面反射镜; 6, 7, 9: 偏光镜 P_1, P_2, P_3 ; 8: 1/4 波片; 10: 待测偏光镜 P ; 11: 探测器; 12, 13: 步进电机;
- 14: 计算机; 15: 锁相放大器

Fig. 3 Experimental equipment of auto-measuring system

- 1: He-Ne laser; 2: chopper; 3: supply of chopper; 4, 5: plane reflector; 6, 7, 9: polarizer P_1, P_2, P_3 ; 8: quarter wave plate; 10: polarizer P under test; 11: detector; 12, 13: step motor; 14: computer; 15: lock-in amplifier

表 2 同一型号的偏光镜的多次测量结果

Table 2 Experimental results of one prism

Measure order	1	2	3	4	5
Extinction ratio ρ	3.57×10^{-6}	3.24×10^{-6}	3.20×10^{-6}	3.13×10^{-6}	3.28×10^{-6}
Average value	3.28×10^{-6}				

参 考 文 献

- 1 Li Guohua, Zhao Mingshan, Wu Fuquan *et al.*. Study of a measurement system for high extinction ratio. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1990, **17**(1): 51~ 53 (in Chinese)
- 2 Li Guohua, Li Jizhong. Polarization Parameter Measuring Technology. *Physical Experiment in Modern Times* ̄, 1993. 147~ 150 (in Chinese)
- 3 Jiang Minhua. *Crystal Physics*. Shangdong: Science Technology Publishing House of Shangdong, 1989. 224~ 302 (in Chinese)
- 4 Li Jingzhen. *Handbook of Optics*. Shanxi: Science Technology Publishing House of Shanxi, 1984. 483~ 545 (in Chinese)

Experimental Study of the Extinction Ratio Auto-measuring System

Wang Zhaobing¹ Li Guohua¹ Lu Shulong¹ Meng Xiangxing²

(¹Laser Research Institute, ²Department of Physics, Qufu Normal University, Qufu 273165)

Abstract In this paper, an auto-measuring experimental system has been designed and established. Some measured results are given.

Key words polarizer, extinction ratio, modulation, polarized light