

文章编号: 1001-3806(2010)01-0060-03

双反射对称分束与平行分束偏光镜的新设计

宋致堂¹,任宪会²,李国华^{1*},彭捍东¹,孔凡美¹,盛宝立²

(1. 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165; 2. 滕州市西岗镇教委, 滕州 277519)

摘要: 在激光偏光调制技术中,对称分束镜和超大剪切差的平行分束偏光镜受技术和材料的限制,制作难度很大,为了提高偏光棱镜出射光束的对称性和平行分束性,从复式双反射棱镜结构出发,寻找到两种设计方案,一是改变结构角参量 φ 和 β ,该设计不仅能保证分束角的对称,而且可以拓宽分束角,并可以根据需要,选择不同的结构角参量以获得合适的对称分束角。二是把出射面为平面改为两个向外凸的平面,能得到剪切差大的平行出射的 o 光和 e 光,且剪切差大小可根据用户要求设计,大大拓宽了双反射偏光棱镜的使用范围。实验结果与理论结果基本一致。

关键词: 物理光学;复式双反射棱镜;结构角;分束角;剪切差

中图分类号: O436.3 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1001-3806.2010.01.017

A novel design of bireflective symmetric beam splitting prism and parallel beam splitting prism

SONG Zhi-tang¹, REN Xian-hui², LI Guo-hua¹, PENG Han-dong¹, KONG Fan-mei¹, SHENG Bao-li²

(1. Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. Education Committee of Xigang Town of Tengzhou City, Tengzhou 277519, China)

Abstract: In the technology of laser modulation, it is very difficult to produce bireflective symmetric beam splitting prism and parallel beam splitting prism with large shear difference because of technical and material restrictions. In order to improve the symmetry and parallelism of output beams of a polarization prism, two design schemes are presented from the perspective of the structure of bireflective prism. One scheme is to change angle parameters φ and β , which can not only ensure the symmetry of the splitting beam angle, but also broaden the splitting angle. Also, according to requirements, appropriate symmetric splitting angle can be obtained by choosing different angle parameters. Another scheme is to change one flat face of the exit facet into two convex faces, therefore, big shear difference can be obtained and the shear of the prism can be designed according to the customer's requirements. As a result, the application scope of the bireflective prism will be widened greatly. The calculated result is well in agreement with experiments.

Key words: physical optics; bireflective prism; structure angle; splitting angle; shear difference

引言

偏光分束棱镜是激光技术及其应用中常用的重要器件。按分束性能大体可以分为两类:一是单向分束型,即被分束的 o 光、 e 光中,只有 e 光发生偏折, o 光保持不变,如洛匈棱镜、萨那芒特棱镜等;二是双向分束型,即被分束的 o 光、 e 光都发生偏折,如渥拉斯顿棱镜、双反射棱镜等。双反射棱镜^[1-4]是 LI 等人发明的一种偏光分束棱镜,它是根据双折射晶体的双反射原理设计而成,利用入射光在单轴晶体内的全反射,将相互垂直振动的光和光分开,从而实现起偏分束。在

某些偏光应用技术中,要求分束角对称^[5-6],或要求两出射光束平行^[7-8]的特殊情况下,需要有针对性地修改棱镜的设计。作者从复式双反射棱镜出发,给出两种改进的设计方案,以满足特殊使用要求。

1 复式双反射偏光分束棱镜的基本原理及改进设计

复式双反射偏光分束棱镜光路图如图 1 所示。它是由两块单轴晶体组成的,第 1 块晶体光轴垂直于入射端面;第 2 块晶体光轴垂直于棱镜切面且与第 1 块光轴垂直。棱镜反射面与入射端面夹角为 45° 。

正入射光束进入第 1 块晶体后,沿光轴传播到达棱镜斜面 AB 前,没有发生双折射,在 AB 界面发生全内双反射,被分解为 o 光、 e 两束平面偏振光。两偏振光束经分界面 BD 进入第 2 块晶体,原来的 o 光变成 e

作者简介:宋致堂(1979-),男,硕士研究生,主要从事激光偏光技术、偏光器件方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: ghli@163169.net

收稿日期:2008-10-29;收到修改稿日期:2009-04-08

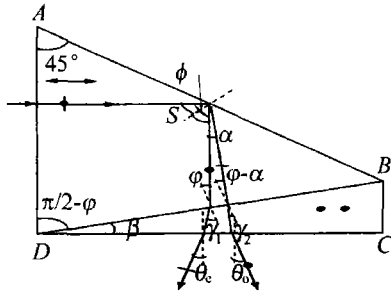


Fig. 1 Structure of a birefractive prism

光, 折射的结果使两束光的分束角进一步扩大, 最后经出射端面进入空气时, 两束光再一次折射偏折, 使分束角再次扩大。

下面介绍分束角与结构角参量 φ 和 β 的关系。在 AB 反射面, o 光反射角等于入射角 S , e 光反射后根据菲涅耳定律有:

$$n_o \sin S = n_e' \sin(S + \alpha) \quad (1)$$

式中,

$$n_e' = \frac{n_o n_e}{(n_o^2 \sin^2 \phi + n_e^2 \cos^2 \phi)^{1/2}} \quad (2)$$

式中, ϕ 是光波法线与光轴之间的夹角, 根据角度之间的几何关系可得:

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \alpha, S = \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

把(2)式、(3)式代入(1)式得:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} n_o = \frac{n_o n_e}{\left[n_o^2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + n_e^2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right]^{1/2}} \quad (4)$$

整理化简后得 α 值为:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{n_o^2 - n_e^2}{2n_e^2} \right) \quad (5)$$

在 BD 面, 由菲涅耳定律:

$$\begin{cases} n_o \sin \varphi = n_e \sin \gamma_1 \\ n_e' \sin(\varphi - \alpha) = n_o \sin \gamma_2 \end{cases} \quad (6)$$

在 CD 面,

$$\begin{cases} n_e \sin(\gamma_2 - \beta) = \sin \theta_o \\ n_o \sin(\beta - \gamma_1) = \sin \theta_e \end{cases} \quad (7)$$

由(5)式~(7)式可以看出, 两分束角 θ_o 和 θ_e 的大小由结构角 φ 和 β 的大小决定。当两出射光束对称分束时, 即 $\theta_o = \theta_e$, 常温下波长为 632.8nm 时取 $n_o = 1.65566$, $n_e = 1.48518$, 联立(5)式~(7)式得到分束角随参量 φ 和 β 的变化关系, 如图2所示。取合适的结构角 φ 和 β 可得到一系列不同分束角的对称分束棱镜, 如: 当 $\varphi = 25^\circ$, $\beta = 19.82^\circ$ 时, 两分束角 $\theta_o = \theta_e = 12.35^\circ$; 当 $\varphi = 30^\circ$, $\beta = 24.31^\circ$ 时, 两分束角 $\theta_o = \theta_e = 14.28^\circ$; 当 $\varphi = 35^\circ$, $\beta = 28.82^\circ$ 时, 两分束角 $\theta_o = \theta_e = 16.35^\circ$ 。

若想输出两平行偏振光将 DC 向外折 (见图3),

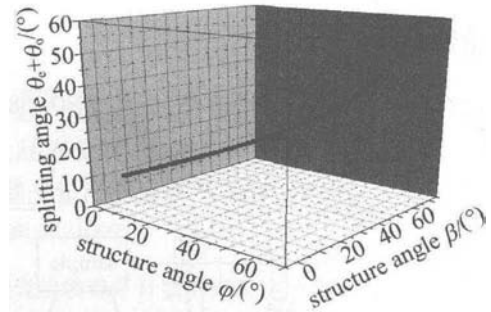


Fig. 2 The relationship of splitting angle and structure angle

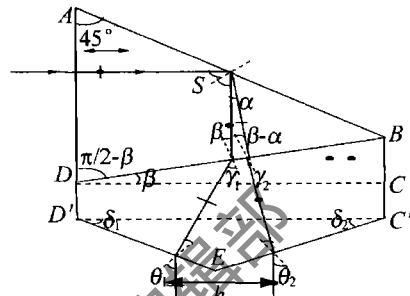


Fig. 3 The design of birefractive parallel beam splitting prism

为方便光路调整, 取 $\varphi = \beta$, 调整 δ_1, δ_2 角可以满足要求。在 $D'E$ 和 $C'E$ 面, 由几何关系和菲涅耳定律得:

$$\begin{cases} n_o \sin(\delta_1 - \beta + \gamma_1) = \sin \delta_1 \\ n_e \sin(\delta_2 - \gamma_2 + \beta) = \sin \delta_2 \end{cases} \quad (8)$$

联立(5)式~(8)式, 并取 $\varphi = \beta = 30^\circ$, 计算得 $\delta_1 = 19.32^\circ$, $\delta_2 = 30.68^\circ$ 。平行分束棱镜的关键参量是 o 光、 e 光的剪切差 h , 它与棱镜后半部分长度 L 有关, 通过计算其值满足:

$$h = 0.1393 \times H + 0.4954 \times L \quad (9)$$

式中, H 为通光孔径, 即 $H = AD$; L 为厚度, 即 $L = DD'$ 。可以通过改变 L 的长度取得合适的剪切差。通常情况下, H 取 20mm, 图4中表明了 L 与剪切差 h 之间的

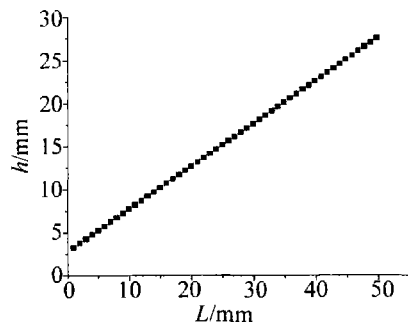


Fig. 4 The relationship of h and L

关系。例如当 $L = 15\text{mm}$ 时, 得到的剪切差超过 10mm。一般的平行分束偏光镜要达到如此大的剪切差, 棱镜的设计厚度不小于 70mm, 要获得这样巨型级冰洲石几乎是不可能的。冰洲石平行分束偏光镜因材料所限, 很难做到剪切差大于 4mm。所以, 本设计对扩大平行分束偏光镜的剪切差是绝好的设计。

2 实验测试

选取, $\varphi = \beta = 30^\circ, \delta_1 = 19.32^\circ, \delta_2 = 30.68^\circ, H = 20\text{mm}, L = 15\text{mm}$ 的平行分束棱镜磨制成样品。为测试样品的剪切差,搭建了如图5所示的测量光路,测量

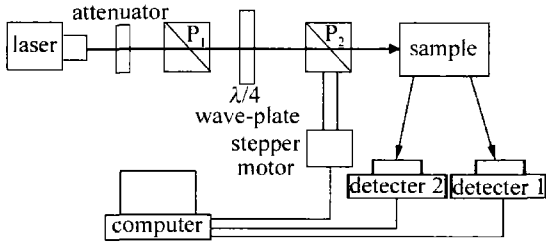


Fig. 5 The testing light path of parallel beam splitting prism

该棱镜的剪切差、消光比和透射比。消光比和透射比的测量需要具有稳定的光源,精确旋转的起偏器、光电探测器和光功率计,因此,在激光器和衰减器后加上起偏器 P_1 和 $\lambda/4$ 波片的组合,将光源由部分偏振光调制成为圆偏振光,以消除该光源主偏振面旋转产生的影响。起偏器 P_2 为一个固定在步进电机上的 Glan-Taylor 棱镜,旋转角度可以精确到秒级。测量样品剪切差时使样品出射的两束光照到宽为 2cm 的毛玻璃板上,透射后用像素为每行 782 点数的 balsar 面阵 CCD 对其记录,使 CCD 镜头刚好容下毛玻璃板,此时 CCD 的分辨率为 $1/39\text{mm}$,即测量剪切差的精度优于 0.03mm ,系统自动计算出两点的中心距离(即要计算的剪切差)。图6为测量样品剪切差的接收部分实验装置,图中 1,2 分别为毛玻璃板和 CCD。图7为 CCD

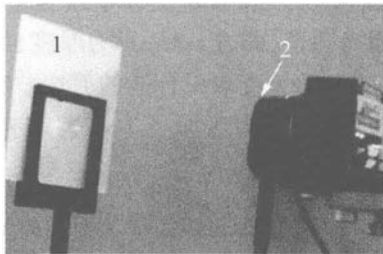


Fig. 6 The part of measurement setup of shear difference

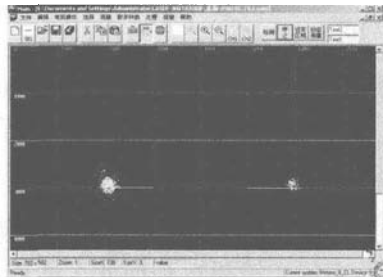


Fig. 7 The testing interface of shear difference

对毛玻璃板摄影后的计算机处理界面,从其界面计算机可直接算出 2 个光点中心的距离。测量样品的消光比和透射比时同时用两个硅光探测器,加一个 60dB 的衰减器,经过 12 位数据采集卡接入计算机,两探测

器经软件调整使其增益一致。测量系统软件是自行采用 VB6.0 编写的系统。其测量方法如下:(1)打开系统光源,待其稳定,开启系统测量软件;(2)在不加衰减器的时候转到 e 光最小值点,记录数据;(3)加入衰减器使其自动转到 e 光极大值,记录数据,算出 e 光的透射比和消光比,同理算出 o 光的透射比和消光比。图8为消光比测试系统的测试界面。

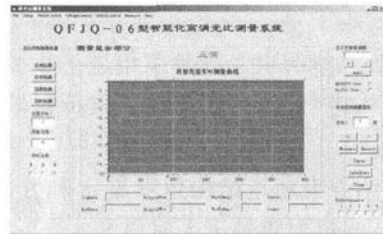


Fig. 8 The testing interface of extinction ratio

以波长为 633nm 的 He-Ne 激光器作为入射光源,经多次测量,得到各光学参量的平均值见表1。

Table 1 Summary of measurement results

λ	T_e	T_o	ρ_e	ρ_o	h	h'
633nm	92%	91%	1×10^{-5}	10×10^{-5}	10.2mm	9.7mm

其中, λ 为光源波长, T_e, T_o 为 e 光和 o 光的透射比, ρ_e, ρ_o 为 e 光和 o 光的消光比, h, h' 为剪切差的理论值和实验值。可见,剪切差的实验值与理论值基本符合,而且棱镜具有较高的消光比和透射比。

3 误差分析

实验测试的误差主要来自两个方面,一个是材料的研磨和胶合误差,另一个是实验操作的误差。首先,对于材料的研磨而言,现在已有了很精密的测量技术,但仍存在一定的误差,实际测试器件的研磨工艺精度也只能达到 $2'$;各组合部分在胶合过程中也存在一定的误差。其次,在实验过程中存在仪器调节精度和操作的误差因素^[9-11]。所以,得到棱镜剪切差的测量值与理论值有一定的误差。

4 小结

以复式双反射棱镜为基础改进设计的两种偏光分束镜,理论与实践上是可行的。(1)在复式双反射棱镜的基础上提出了一种分束角对称偏光棱镜的设计方法,理论计算表明,该设计不仅能保证分束角的对称,而且可以拓宽分束角,并可以根据需要,选择不同的结构角参量 φ 和 β 以获得合适的对称分束角。(2)复式双反射平行分束棱镜设计,拓宽了棱镜的使用范围,棱镜的特点是剪切差大,这是一般平行分束棱镜所不及的,且剪切差大小可根据用户要求设计,此种棱镜在工

(下转第 66 页)

取 λ 分别为1, 1.31和1.42, 即粒径分别是0.38 μm , 0.499 μm 和0.54 μm 的标准粒子, 得到3种粒子信号幅值概率分布曲线的模拟结果, 见图5。

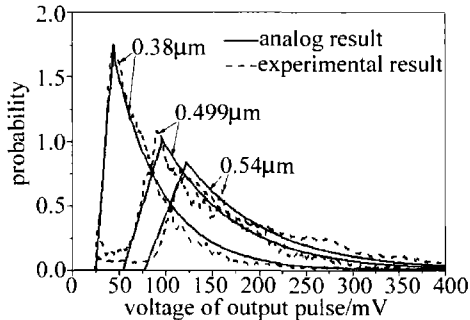


Fig. 5 The comparison between theoretical results and experimental results

由图5可知, 模拟结果很好地反映了真实实验的测试结果, 其能够比较准确地描述带保护气套光电传感器标准粒子计数信号幅度概率分布。也验证了在对一个传感器, 即光强分布给定的情况下, 粒子的信号幅度概率分布只与粒径有关。

4 结论

光敏区的光强均匀性决定粒子信号概率分布的宽度, 而粒子信号幅度概率分布与光敏区光强均匀性以及气流中颗粒密度分布直接相关, 对于同一个光学传感器来说, 不同标准粒子的信号幅度概率分布都是相似的。同种标准粒子在不同尘埃粒子计数器, 得到的信号幅度概率分布之间的差异, 可以直接反映传感器性能的好坏。而提高光敏区光强的均匀性以及合理的采样气路设计是提高激光尘埃粒子计数器性能水平的关键所在。

参考文献

[1] HUANG H J, ZHAO Y K, REN B Q, *et al.* Aerosol particle measure-

(上接第62页)

艺上不存在任何困难, 较经济实用。实验结果与理论值基本一致。

参考文献

[1] LI G H, WU F Q. The study of bireflective parallel beam-splitting polarization prism [J]. Journal of Optoelectronics · Lasers, 1990, 1(1): 43-47 (in Chinese).
 [2] ZHAO M Sh, LI G H. Double-element bireflectant polarization beam splitting prism [J]. Laser Journal, 1992, 13(1): 39-43 (in Chinese).
 [3] LI G H, ZHAO M Sh, DI Zh Q. A new type sing-element polarization prism [J]. Journal of Qufu Normal University, 1991, 7(3): 58-61 (in Chinese).
 [4] WU F Q, LI G H. The study of sing unit bireflective polarization beam-splitting prism with larger splitting angle [J]. Laser Technology, 1991, 15(5): 317-320 (in Chinese).
 [5] MENG F H, SONG L K. A new symmetric beam-splitting polarization prism [J]. Laser Technology, 2006, 30(6): 670-672 (in Chinese).

ment by laser diode light scattering [J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, A29(12): 1171-1121 (in Chinese).
 [2] LI Z Y, LIU Zh Q, YE Y. Study on the effects of selection and process of the holography film for in-line particles holography [J]. Laser Technology, 2005, 29(6): 617-620 (in Chinese).
 [3] HUANG T L, ZHENG G, WANG N N. Count technology for particulate condition in indoor air [J]. Journal of Applied Optics, 2000, 21(2): 17-21 (in Chinese).
 [4] BIAN B M, HE A Zh, WU D L. Reflexive speckle image of the point light source in the laser airborne particle counter for 0.1 μm and its processing [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 1997, 8(4): 246-250 (in Chinese).
 [5] LIANG Ch L, HUANG H J, REN B Q, *et al.* Study of miniature optical sensor for laser particle counter [J]. Acta Optica Sinica, 2005, 23(9): 1260-1264 (in Chinese).
 [6] YANG L, CHENG X F, BIAN B M, *et al.* The study of transmission of light scattering signal of parcels [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2000, 11(1): 89-91 (in Chinese).
 [7] YANG J, GU F, BIAN B M, *et al.* The study of signal transmission characteristic in airborne particle counter [J]. Laser Technology, 2008, 32(3): 255-258 (in Chinese).
 [8] FERRI F, RIGHINI G, PAGANINI E. Inversion of low-angle elastic light-scattering with a new method devised by modification of the Chahine algorithm [J]. Appl Opt, 1997, 36(30): 7539-7550.
 [9] WANG Y W. The study of the measurement method and theory for the dimension of particles [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2000: 52-63 (in Chinese).
 [10] YANG J, GU F, BIAN B M. Relation between light-intensity's uniformity and standard particle signal distribution [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(s1): 405-409 (in Chinese).
 [11] GU F, YANG J, BIAN B M. A model for aerosol mass concentration using an optical particle counter [J]. Chinese Optics Letters, 2008, 6(3): 214-217.
 [12] YANG J, PENG G, GU F. Design of performance optimization for optical sensor in laser airborne particle counters [J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(4): 59-61 (in Chinese).
 [13] SHI Y Sh, XU X R. Fluid mechanics [M]. Beijing: Science Press, 2005: 110-112 (in Chinese).

[6] NI Zh B, SONG L K, LIU J P, *et al.* The design and performance analysis of modular structural reflected polarizing prism of equal splitting angle [J]. Laser Technology, 2008, 32(2): 151-156 (in Chinese).
 [7] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P, *et al.* Ternary parallel beam splitter combined of iceland and glass [J]. Optical Technique, 2006, 30(3): 311-316 (in Chinese).
 [8] JIA P, LI G H, PENG H D. New design of turning composite parallel splitting prism [J]. Laser Technology, 2008, 32(2): 154-156 (in Chinese).
 [9] SONG L K, LI G H. Design of the three-element combination achromatic retarder made of mica and quartz [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2000, 11(1): 51-53 (in Chinese).
 [10] SU F F, WU F Q, WANG W. Analysis of optical path character of Wallaston prisms in the diversity compound mode [J]. Optical Technique, 2003, 29(6): 680-684 (in Chinese).
 [11] CHEN X Y, SAN M. Studies of characteristic of double Wollaston prisms [J]. Applied Laser, 2003, 23(3): 161-163 (in Chinese).