

文章编号: 1001-3806(2010)02-0214-04

一种新型平行可调对称分束器的设计

牛明生, 宋连科*

(曲阜师范大学 激光研究所 山东省激光偏光与信息技术重点实验室, 曲阜 273165)

摘要: 为了获得对称且平行分束的偏振光, 对双 Wollaston 棱镜进行了修正, 在获得大分束角的对称偏振光后, 配合普通玻璃三棱镜, 使对称分束光变成平行分束光, 通过改变三棱镜与双 Wollaston 棱镜间的距离来改变平行光的剪切距离。通过测量其透射比得到新设计的分束器的透射在 85% 左右, 测量误差在 0.91% 左右。结果表明, 该设计方案既节省了材料又节省了测量时间, 能够满足较精密的测量需要。

关键词: 光学器件; 修正角; 三棱镜; 透射率

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.019

Design of a new kind of symmetry parallel adjustable splitter

NIU Ming-sheng, SONG Lian-ke

(Shandong Provincial Key Laboratory of Laser Polarization and Information Technology, Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: In order to obtain symmetry and parallel polarized light, the double Wollaston prism is amended. After getting symmetric polarized light at a big splitting beam angle, an ordinary triangular prism is added so that the symmetric light beam can be divided into parallel light beams. The distance between the triangular prism and the double Wollaston prism is changed so that the distance of the shearing parallel light can be changed. The measured transmittance of the new beam splitter is about 85% with measurement error of about 0.91%. It saves material and saves the measurement time. It is able to meet the needs of more sophisticated measurement.

Key words: optical device; amendment angle; triangular prism; transmittance

引言

偏光分束镜是一种重要的光学器件^[1-3], 广泛应用于各种偏光技术领域内, 比如激光调制、偏振状态输出以及偏振干涉技术^[4]。一般情况下, 偏光分束镜可以将一束单色入射光分解为两束电矢量振动方向互相垂直的线偏振光。若出射的两束线偏振光相平行, 则称为平行分束偏光镜。若以一定的夹角(不为 0)出射, 则称为角剪切分束偏光镜^[5]。分束器的设计方法比较多。但大多数都只是从某一方面改进: 要么只是分束, 要么只是平行。本文中设计的分束器改变原来的单一模式, 利用双 Wollaston 棱镜配合普通玻璃三棱镜, 使出射的光既能够对称分束又能够平行分束, 还可以调节平行光之间距离的新型器件, 改变了过去两种棱镜交替使用的情况, 这既节省材料又节省测量时间, 还能满足比较精确的测量需要, 为获得对称平行分束

偏振光提供了一种新的测量器件。

1 双 Wollaston 棱镜的基本原理及其改进设计

对于 Wollaston 棱镜, 出射的 o 光和 e 光均以光在入射晶体中的属性来定义^[6-7]。对于 Wollaston 棱镜的精确的分束角由下式给出^[8]: $\varphi_o = \sin^{-1} \{ \sin S [(n_o^2 - n_e^2 \sin^2 S)^{\frac{1}{2}} - n_e \cos S] \}$, $\varphi_e = \sin^{-1} \{ \sin S [(n_o \cos S - (n_e^2 - n_o^2 \sin^2 S)^{\frac{1}{2}})] \}$ 。其分束角为: $\varphi = \varphi_o + \varphi_e$ 。式中, n_o 和 n_e 分别为 o 光和 e 光在棱镜内的折射率, S 为棱镜的结构角, φ_e 和 φ_o 分别为 e 光和 o 光分束角。在结构角大于 20° 、入射光波长为 632.8nm 时, 分束角 φ_e 和 φ_o 表现出明显的不对称性, 并且分束角较小。为了使出射光分束角变大, 且能对称分束, 采用双 Wollaston 棱镜, 其基本结构如图 1 所示。棱镜主体由 3 块单棱镜组成, 第 1 块和最后 1 块单棱镜的结构角相等, 光轴方向在纸面内, 并且与入射面平行, 第 2 块棱镜的晶体光轴垂直于纸面。图中 S 是棱镜的结构角, 双箭头及圆点表示晶体的光轴方向; θ 为光入射到第 1 个面的入射角; δ_o 和 δ_e 分别为 o 光和 e 光在第 1 个面上的折射

作者简介: 牛明生 (1975-), 男, 硕士, 主要研究方向为偏光器件设计与相关参量的设计。

* 通讯联系人。E-mail: lksong@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2009-02-24; 收到修改稿日期: 2009-04-17

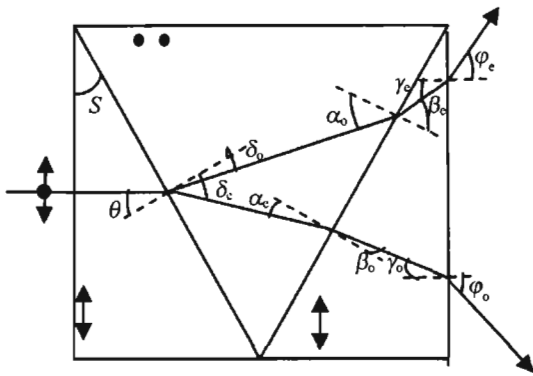


Fig. 1 The optical path of double Wollaston prism

角; α_o, α_e 分别为 o 光和 e 光在第 2 个面上的入射角; β_o, β_e 为折射后 e 光变为 o 光, o 光变为 e 光后的折射角; γ_o, γ_e 分别为 o 光和 e 光的最后折射面上的入射角; φ_e, φ_o 分别为 e 光和 o 光的分束角。一束光垂直入射至双 Wollaston 棱镜左侧, 由折射定律可得, 在第 1 个斜面处有:

$$\begin{cases} n_o \sin S = n_e \sin \delta_e \\ n_e \sin S = n_o \sin \delta_o \end{cases} \quad (1)$$

在第 2 个斜面处有:

$$\begin{cases} n_e \sin \alpha_e = n_o \sin \beta_o \\ n_o \sin \alpha_o = n_e \sin \beta_e \end{cases} \quad (2)$$

在出射端面有:

$$\begin{cases} n_o \sin \gamma_o = \sin \varphi_o \\ n_e \sin \gamma_e = \sin \varphi_e \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$\begin{cases} \alpha_o = 2S - \delta_o \\ \gamma_e = \beta_e - S \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \delta_e + \alpha_e = 2S \\ \beta_o + \gamma_o = S \end{cases} \quad (5)$$

结合(1)式~(5)式得出 e 光和 o 光分束角分别为:

$$\varphi_e = \sin^{-1} \left\{ n_e \sin \left[\sin^{-1} \left[\frac{n_o}{n_e} \sin \left(2S - \sin^{-1} \left(\frac{n_e}{n_o} \sin S \right) \right) \right] - S \right] \right\}$$

$$\varphi_o = \sin^{-1} \left\{ n_o \sin \left[S - \sin^{-1} \left[\frac{n_e}{n_o} \sin \left(2S - \sin^{-1} \left(\frac{n_e}{n_o} \sin S \right) \right) \right] \right] \right\} \quad (6)$$

由(6)式可以推出 φ_o 和 φ_e 分束角比 Wollaston 棱镜较大, 通过图 2(图中倾斜角较大的为 e 光)可以看出, 分束角在结构角不大的情况下, 还比较对称, 但当结构角大于 21° 时, 就具有明显的不对称性, φ_e 总大于 φ_o 。为了使出射的分束光具有对称性, 对双 Wollaston 棱镜的输出端进行修正。把出射 o 光的下半部分从中间进行修正, 设修正角为 $\Delta\theta$, 使 $\varphi_e = \varphi_o + \Delta\theta$ (这里以入射角为 0 进行入射)。让光在一定孔径角内进行入射, 考察分束角和孔径角的关系, 然后以不同结构角, 考察分束角

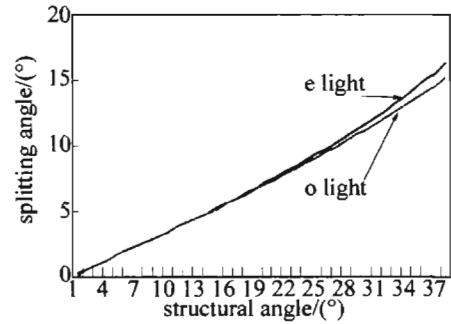


Fig. 2 The relation between the structural angle and the splitting angle 和方向角的关系, 以期找到透射率最大位置的结构角。

2 修正角与结构角的关系

2.1 对双 Wollaston 棱镜的修正

为了使出射光能够对称分束, 对原来的双 Wollaston 棱镜进行修正, 如图 3 所示, 这里的修正也能避免

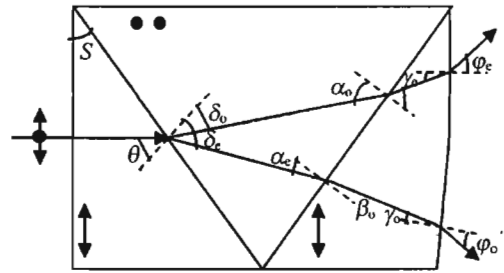


Fig. 3 The structure and light splitting path of the double Wollaston prism 抛光时的“掉肉”现象, 加工起来较容易。如图 3 所示, 利用几何关系得:

$$\begin{cases} \beta_o = \gamma_o' + \Delta\theta \\ \Delta\theta + \varphi_o' = \varphi_e \end{cases} \quad (7)$$

$$n_o \sin \gamma_o' = \sin \varphi_o' \quad (8)$$

式中, $\Delta\theta, \gamma_o', \varphi_o'$ 为修正后的角。

由(6)式~(8)式可得:

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(S - \beta_o) - \frac{1}{n_o} \sin \varphi_e}{\cos(S - \beta_o) - \cos \varphi_e} \right] \quad (9)$$

即为修正角与结构角的关系。以波长为 633nm 的单一色光入射, 其主折射率为 $n_o = 1.65567$, $n_e = 1.48515$, 以不同的结构角进行计算可以得出如图 4 所示的曲线

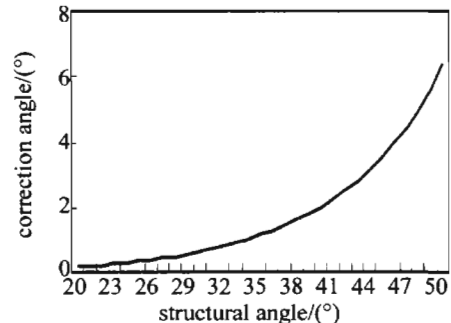


Fig. 4 The relation between the structural angle and the correction angle

关系。通过曲线可以看出,随着结构角的增大修正角也不断增大,并且修正角变化规律也明显。

2.2 修正角与波长的关系

如果不用 633nm 的光照射而用其它波长的可见光照射,令结构角为 30°,由(9)式和不同波长下冰洲石的主折射率可得出如图 5 所示的修正角与波长的关系曲线(由于波长和折射率之间不具有连续性而导致分束角的不连续,所以这里采用闪点图)。

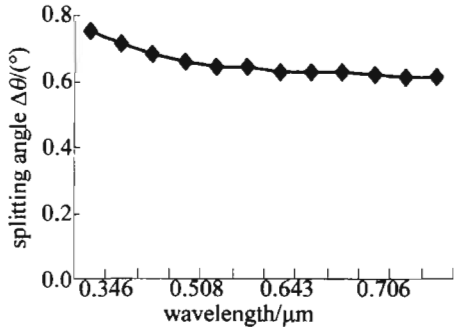


Fig. 5 The relationship between splitting angle and wavelength

3 对称分束后平行光束间距的改变

3.1 o 光, e 光从双 Wollaston 棱镜透射后变成平行光

o 光和 e 光从修正后的双 wollaston 棱镜透射后使之射入 1 块由普通光学玻璃做成的三棱镜。当光出射后,使之变为平行光。如图 6 所示,图中右边为三棱镜

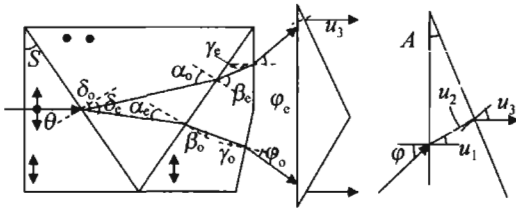


Fig. 6 The structure and light splitting path of the new splitter

上半部分的放大图, u_1, u_2 和 u_3 分别为分束光在玻璃三棱镜第 1 个面上的折射角、第 2 个面上的入射角和第 2 个面上的出射角; A 为三棱镜的底面角。设 o 光、e 光入射到三棱镜上的入射角为 $\varphi_e = \varphi_o + \Delta\theta = \varphi$ (因为光对称入射,所以 o 光、e 光的入射角相等)。由 Snell 定理得:

$$\begin{cases} \sin\varphi = n\sin u_1 \\ n\sin u_2 = \sin u_3 \\ u_3 = A \\ u_1 + u_2 = A \end{cases} \quad (10)$$

由(10)式化简得:

$$(n^2 - 1)\sin^2 A - \sin(2A)\sin\varphi - \sin\varphi = 0 \quad (11)$$

在 φ 已知的条件下,这里出现了角度 A 和折射率 n 两个未知数。令玻璃的折射率为已知量 $n = 1.5$,则 A 就

是 φ 的函数。这里令 $S = 30^\circ$,在波长为 633nm 的光入射的情况下,可以计算出 $A = 22.5^\circ \pm 0.03^\circ$ 。根据不同的需要修正不同结构角下的双 Wollaston 棱镜,配合相应的三棱镜,从而得到需要的分束器。

3.2 两分束平行光距离的变化与三棱镜和双 Wollaston 棱镜距离的关系

令双 Wollaston 棱镜第 1 部分底面边长为 d (从左边起第 1 块),光从中间射入。光在第 1 块棱镜中不分束,进入第 2 块棱镜时,o 光和 e 光开始分开。光在修正后的双 Wollaston 棱镜出射时,结合图 6 可以推出其分束距离,令上半部分分束距离为 m (从中间算起),则:

$$m = [d \tan(S - S_0) \cos S + d \tan(S - \delta_o) \times \sin S \tan \alpha_o] \cos S \quad (12)$$

从双 Wollaston 棱镜出射光的总分束距离为:

$$l = 2 \left[m + \left(\frac{d}{2} - m \tan S \right) \tan \gamma_e \right] \quad (13)$$

令双 Wollaston 棱镜距三棱镜的水平距离为 k ,则到达三棱镜的分束距离可近似为:

$$y = 2(l + k \tan \varphi_e) \quad (14)$$

令光入射到三棱镜上半部分的入射点与棱镜上面顶点的距离为 x ,透过棱镜后上半部分剪切距离为:

$$r = \frac{x \sin A}{\cos u_2} \sin u_1 \quad (15)$$

光通过棱镜后总的分束距离为:

$$R = 2(l + k \tan \varphi_e + \frac{x \sin A}{\cos u_2} \sin u_1) \quad (16)$$

这样可以根据所需要的平行光束的距离来调节三棱镜和修正后的双 Wollaston 棱镜的距离,以获得所需距离的平行光束。

4 透射后的光强透射率

对于偏振光透过修正后的双 Wollaston 棱镜后,平行光的透射率由菲涅耳公式可以得出^[9]:

$$T = \frac{\sin(2\theta_1) \sin(2\theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} \quad (17)$$

这里光线垂直入射于棱镜的左侧。通过计算可知修正后的双 Wollaston 棱镜的透射率为 85%。与实验中所测量的值近似相等。用直接误差分析^[10],对测量结果进行误差分析,其误差小于 0.91%,能够满足较精密的测量。

5 小 结

通过对双 Wollaston 棱镜的修正,实现了光的对称分束,配合普通光学玻璃三棱镜实现了光的平行分束,

通过调节棱镜与双 Wollaston 棱镜间的距离可以改变平行光束间的距离,一改过去固定的分束模式,既能获得对称分束光又能获得平行分束光,还节省了材料。通过实验测试和误差分析可以看出,修正后的双 Wollaston 棱镜能够满足较精密的测量需要。

参 考 文 献

- [1] LI J L, WANG Y W, LI Y H. Research on performance of CaCO_3 for light-polarized device [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2002, 31(4):413-416 (in Chinese).
- [2] WANG W, WU F Q, SU F F. A modified symmetric splitting angle prism [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(9):913-916 (in Chinese).
- [3] YE K F, LI X P, ZHENG W, *et al.* High-performance polarizing beam prism [J]. Optical Instruments, 2004, 26(2):55-59 (in Chinese).
- [4] JIA P, LI G H, PENG H D. Phenomena of frustrated total internal reflection in polarizing prism [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2008, 19(8):712-715 (in Chinese).
- [5] ZHENG M M, WU F Q, BI J, *et al.* Design of polarizer which can scaling or blooming the parallel beam splitter's shear difference [J]. Laser Journal, 2007, 28(2):24-25 (in Chinese).
- [6] LI J Zh. Hand book of optics [M]. Xi'an: Shaanxi Science Technology Press, 1980:258-271 (in Chinese).
- [7] LI G H, WU F Q. Splitting angle' asymmetric of beam splitting prism [J]. Journal of Applied Optics, 1991, 12(4):7-9 (in Chinese).
- [8] ZHANG X, WU F Q, HE J, *et al.* Modified symmetric beam splitting prism [J]. Laser Technology, 2007, 31(6):671-672 (in Chinese).
- [9] LIAO Y B. Polarization optics [M]. Beijing: Science Press, 2003:24-25 (in Chinese).
- [10] SHA D G. Measurement uncertainty and measurement error [J]. Optical Technique, 1995, 11(6):44-48 (in Chinese).
- [11] LORENZ K T, EDWARDS M J, JANKOWSKI A F, *et al.* High pressure, quasi-isentropic compression experiments on the omega laser [J]. High Energy Density Physics, 2006, 2(3/4):113-125.
- [12] SMITH R F, EGGERT J H, JANKOWSKI A, *et al.* Stiff response of aluminum under ultrafast shockless compression to 110GPa [J]. Phys Rev Lett, 2007, 98(6):065701.
- [13] SWIFT D C, JOHNSON R P. Quasi-isentropic compression by ablative laser loading; response of materials to dynamic loading on nano-second time scales [J]. Phys Rev, 2005, E71(6):066401/1-066401/5.
- [14] DING J L, ASAY J R. Material characterization with ramp wave experiments [J]. J A P, 2007, 101(7):073517/1-073517/19.
- [15] LI W X. One-dimensional nonsteady flow and shock waves [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003:130 (in Chinese).
- [16] SEAMAN L. Lagrangian analysis for multiple stress or velocity gages in attenuating waves [J]. J A P, 1974, 45(10):4303-4314.
- [17] HUA J S, JING F Q, GONG Z Zh, *et al.* Study of numerical simulation for quasi-isentropic compression [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2000, 14(3):195-202 (in Chinese).

(上接第180页)

pression techniques; applications to aluminum and tungsten [R]. Albuquerque, NM USA; Sandia Report, Sandia National Labs, Thermo-mechanical and Physical Div, 1986:1-26.

- [6] ASAY J R. The use of shock-structure methods for evaluating high-pressure material properties [J]. International Journal of Impact Engineering, 1997, 20(1):27-61.
- [7] BARNES J F, BLEWETT P J, McQUEEN R G, *et al.* Taylor instability in solids [J]. J A P, 1974, 45(2):727.
- [8] TASKER D G, GOFORTH J H, OONA H, *et al.* Advances in isentropic compression experiments (ICE) using high explosive pulsed power [J]. American Institute of Physics Conference Proceedings, 2004, 760:1239-1242.
- [9] YE Y D, LÜ B D, CAI B W. Temporal and spatial pulse shaping of high-power lasers—performance properties of a temporal-spatial pulse shaping system [J]. Laser Technology, 1996, 20(5):276-179 (in Chinese).
- [10] HUANG L, ZHANG Sh J, LI Y T. Design of a laser renovating pulses in time and space field [J]. Laser Technology, 2001, 25(3):206-208 (in Chinese).