

文章编号: 1001-3806(2006)06-0670-03

# 一种新型对称分束偏光棱镜的设计

孟繁华, 宋连科\*, 孔凡震, 刘 文

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了提高偏光棱镜出射光束的对称性, 在 Wallaston 棱镜的基础上, 对出射光端面倾斜适当的角度, 在结构角一定的情况下, 即可以保证分束角相对入射光方向的对称性。以 589.3nm 钠黄光为例, 给出了出射光端面倾角、棱镜结构角和分束角之间的关系式, 并分析了分束角随出射光端面倾角的变化趋势, 同时提出了两种相关设计方案。测试结果表明, 两出射光束的对称性相当好, 理论值与实验值几乎完全吻合, 表明该棱镜确是一种较理想的对称分束偏光器件。

**关键词:** 光学器件; 分束角; 对称; 偏光棱镜  
**中图分类号:** O436.3 **文献标识码:** A

## A new symmetric beam-splitting polarization prism

MENG Fan-hua, SONG Lian-ke, KONG Fan-zhen, LIU Wen

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

**Abstract** To improve the symmetry of emergent beams of a polarization prism, based on the Wallaston prism, the emergent face is inclined with an appropriate angle so that the symmetry which the beam-splitting angle relative to the incident light direction can be ensured in the case of a certain structure angle. Taking the 589.3nm sodium yellow light for example, the relation formula among the obliquity of the emergent face, the structure angle of the prism and the beam-splitting angle are deduced, and the change trend of the beam-splitting angle along with the emergent face is also analyzed. Two correlative designs are presented at the same time. The testing results indicate that the symmetry is excellent and the experiment value is almost identical with the theoretical value which shows this polarization prism is positively an ideal symmetric beam-splitting polarization device.

**Key words** optical devices; beam-splitting angle; symmetry; polarization prism

### 引 言

现代偏光技术和实验中, 越来越多地用到偏光分束镜<sup>[1,2]</sup>, 渥拉斯顿棱镜是最典型的一种<sup>[3]</sup>。但研究表明, 其分束角并不具有完全的对称性, 且随着结构角的增大, 分束角的不对称性越来越明显<sup>[4]</sup>。而在许多偏光技术中, 需要用到高度对称的 Wallaston 棱镜<sup>[5]</sup>。对此, 人们已经做了大量研究, 并提出了许多设计方法<sup>[6]</sup>, 常用的方法主要有: (1) 改变胶合层楔角<sup>[7]</sup>; (2) 改变光轴方向<sup>[8,9]</sup>; (3) 选取折射率合适的材料<sup>[10]</sup>, 如玻璃等。但其中方法 (1) 操作起来非常麻烦, 方法 (2) 调整光轴方向, 加工楔块过程相对困难, 方法 (3) 材料折射率未必能完全匹配<sup>[11]</sup>。以下给出了一种新型对称分束偏光棱镜的设计, 在不改变原有材料和光轴方向及胶合层楔角的情况下, 将右通光面倾斜某一个角度, 即可实现分束角的对称, 加工过程更趋简单。

**作者简介:** 孟繁华 (1979-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光偏光技术方面的研究。

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

收稿日期: 2005-10-24 收到修改稿日期: 2005-12-07

### 1 Wallaston 棱镜的基本原理

Wallaston 棱镜的结构见图 1, 入射光垂直于棱镜

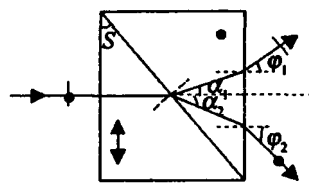


Fig 1 Structure of Wallaston prism

前表面进入棱镜, 由于垂直于光轴传播, o 光, e 光不分开, 经过切割面后, 由于光轴方向变为垂直于纸面, 所以原来的 e 光变为 o 光, 原来的 o 光变为 e 光, 出射后, o 光向上偏折, e 光向下偏折, 相对于原来的入射方向, 上下偏折的角度并不完全相等。由折射定律:

$$\begin{cases} n_e \sin S = n_o \sin(S - \alpha_1) \\ n_o \sin S = n_e \sin(S + \alpha_2) \end{cases} \quad (1)$$
$$\begin{cases} n_o \sin \alpha_1 = \sin \varphi_1 \\ n_e \sin \alpha_2 = \sin \varphi_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $S$  为棱镜结构角,  $\alpha_1, \alpha_2$  是透过胶合层后的分束角,  $\varphi_1, \varphi_2$  为出射光的偏向角,  $n_o, n_e$  分别为 o 光, e 光的主折射率。由 (1) 式、(2) 式可得:

$$\begin{cases} \alpha_1 = S - \arcsin\left[\frac{n_e}{n_o} \sin S\right] \\ \alpha_2 = \arcsin\left[\frac{n_o}{n_e} \sin S\right] - S \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \varphi_1 = \arcsin\left\{n_o \sin\left[S - \arcsin\left(\frac{n_e}{n_o} \sin S\right)\right]\right\} \\ \varphi_2 = \arcsin\left\{n_e \sin\left[\arcsin\left(\frac{n_o}{n_e} \sin S\right) - S\right]\right\} \end{cases} \quad (4)$$

对 589.3nm 钠黄光,  $n_o = 1.658$ ,  $n_e = 1.486$  代入 (3) 式、(4) 式, 用 ORIGIN 作图,  $\alpha_1, \alpha_2, \varphi_1, \varphi_2$  随结构角  $S$  变化的曲线见图 2。可见, 随着结构角的增大,  $\alpha_1, \alpha_2, \varphi_1, \varphi_2$  也是逐渐增大的, 考虑到全反射,  $S$  最大取到  $63.67^\circ$ , 且随着  $S$  的增大,  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  的差也在增大, 分束角的不对称性也越来越明显。

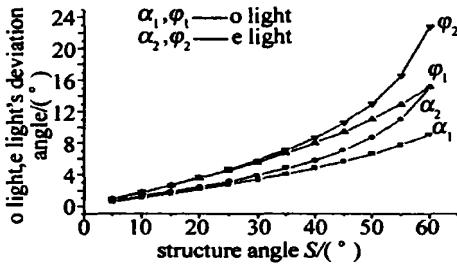


Fig 2 Relations of structure angle with deviation angle's change

## 2 对称分束偏光棱镜的设计

W allaston 棱镜对入射光无方向性要求, 利用这一特性, 在结构角一定的情况下, 采用改变棱镜形状的方法使分束角对称。改进的棱镜结构见图 3。改进之处在于棱镜两通光面不再平行, 而是使得右通光面向右倾斜一个角度  $\delta$ 。  $\delta$  角在一定范围内可以保证上下分束角严格相等。

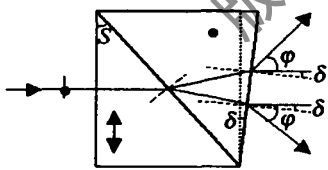


Fig 3 Structure & beam path of symmetric beam-splitting prism

如图 3 所示, 在右通光面, 由折射定律可得下式:

$$\begin{cases} n_o \sin(\alpha_1 + \delta) = \sin(\varphi_1 + \delta) \\ n_e \sin(\alpha_2 - \delta) = \sin(\varphi_2 - \delta) \end{cases} \quad (5)$$

令  $\varphi = \varphi_1 = \varphi_2$ , 则分束角为  $2\varphi$

$$\varphi = \arcsin\left\{\left[n_o \sin(\alpha_1 + \delta) + n_e \sin(\alpha_2 - \delta)\right] / 2\cos\delta\right\} \quad (6)$$

取  $S$  为  $30^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ , 分别代入对应的  $\alpha_1, \alpha_2$  的值, 由 ORIGIN 作图, 可得  $\delta$  与  $\varphi$  的关系见图 4。

为保证分束角的对称,  $\delta$  角需满足  $0 < \delta < \alpha_2$ , 当  $\delta$  角在此范围内取值时, 出射光偏向角可以完全相等, 也就是出射光分束角完全对称, 且随着结构角的增大,  $\delta$

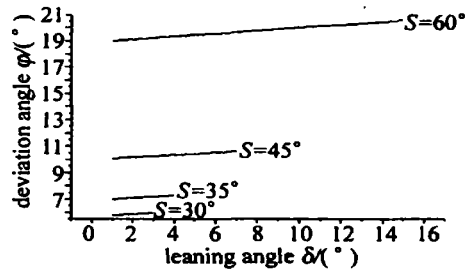


Fig 4 Design relation between  $\delta$  and  $\varphi$  at different structure angle

角的取值范围也越来越宽, 分束角也越来越大。比如  $S = 60^\circ$  时,  $\delta$  可取  $1^\circ \sim 15^\circ$ , 分束角  $2\varphi$  可超过  $40^\circ$ 。

## 3 相关设计方案

除了上述设计方案外, 还可以有以下两种结构形式, 见图 5。其参数可类似得出, 此处不再赘述。

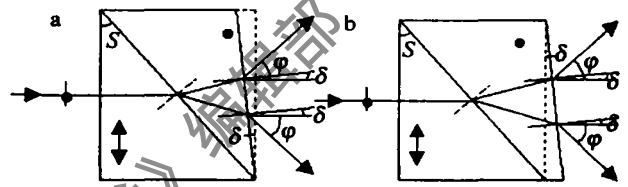


Fig 5 Design 2 of symmetric beam-splitting prism

## 4 实验测试

棱镜分束角的测试是在如下的测角仪上进行的。测试光路如图 6 所示。样品放在测角仪的样品台上。样品台可以旋转且可以读出旋转的角度。光路中加入光阑的目的是为便于利用反射光调整光在棱镜上的正入射; 加入衰减器的目的是为了对眼睛的保护。目镜 L 可以随其摆臂绕轴自由转动。测量过程为: (1) 先不放棱镜, 用目镜找准入射光方向 I, 记下相应的角度值; (2) 将棱镜置于光路, 调整棱镜使光正入射于前端面; (3) 分别向两侧旋转测角仪, 用目镜找到 o 光, e 光的出射方向 II, III, 并记下对应的角度值, 两个角度与 I 方向角度之差即分别为  $\varphi_1, \varphi_2$ 。

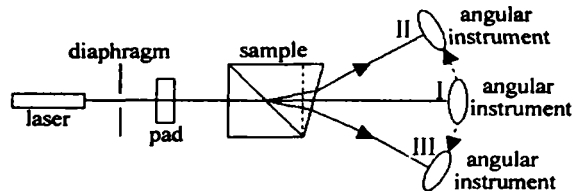


Fig 6 Measurement setup of symmetric beam-splitting angle

根据上述原理与条件, 制作了方解石材料的对称分束偏光棱镜, 实验获得了非常好的结果。棱镜主要设计参数为  $S = 35.51^\circ, \delta = 2.1^\circ, n_o = 1.658, n_e = 1.486$  光源为 589.3nm 激光器。计算得理论值  $\varphi = \varphi_1 = \varphi_2 = 7^\circ 15'$ , 实验测量值  $\varphi_1 = 7^\circ 14', \varphi_2 = 7^\circ 16'$ 。可见, 该棱镜输出光之间确有良好的对称性, 理论值与实验值符合得相当好。需要说明的是, 实验所用磨制的

棱镜难免存在加工误差,因而理论值与实验值之间也是有一定误差的。

## 5 小 结

(1)利用 W allaston 棱镜对入射光方向无选择的特性,在 W allaston 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,而且可以拓宽了分束角。并可以根据需要,选择不同的结构角及右通光面倾斜角以获得合适的对称分束角。(2)根据棱镜晶体材料各向异性的特点,选择恰当的晶体加工方位以利于工艺实施。棱镜加工过程中,只需按设定的角度将右半块磨制成锐角或钝角三角形(方解石晶体光轴垂直于纸面的半块棱镜),避免了调整光轴方位或胶合层楔角等复杂的操作过程,大大简化了加工工序。(3)研究表明, W allaston 棱镜在小分束角设计时(分束角小于  $10^\circ$ , 对应结构角小于  $27^\circ$ ),分束角基本对称,只有在大分束角设计时需要考虑对称问题,此种改进设计不会增加工艺难度,几乎不增加材料成本,有较高的实用价值。

## 参 考 文 献

[1] ZHOU J, SU G Y, SHI R Y. The influence of adjustable beam splitting

prism on laser beam [J]. Laser Technology, 2002, 26(1): 75~ 78( in Chinese).

[2] GAO H G, PEI Q K. The design of Gallium Telluride polarizing prism [J]. Laser Technology, 1994, 18(3): 185~ 189( in Chinese).

[3] MA Y W, HUANG L. Analysis of Wollaston polarizer in imaging systems [J]. Laser Technology, 1996, 20(2): 68~ 72( in Chinese).

[4] HUANG J Y, WU F Q, LI G H. Symmetry of beam splitting angle for uniaxial crystal prism [J]. Laser Technology, 1996, 20(2): 104~ 107( in Chinese).

[5] HUANG J Y, WU F Q. The study about design and measure of uniaxial crystal prism with excellent symmetry of the beam splitting angle [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 1995, 6(4): 211~ 215( in Chinese).

[6] XU Y X, CAI X, ZHANG Zh L. Design of modified Wollaston prisms [J]. Optics and Precision Engineering, 2001, 9(2): 131~ 134( in Chinese).

[7] MONTAROU C C, GAYLORD T K. Analysis and design of modified Wollaston prisms [J]. Appl Opt, 1991, 38(31): 6604~ 6616.

[8] 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).

[9] WANG W, WU F Q, SU F F. Symmetric polarization beam splitting prism based on birefringent Wollaston prism [J]. Optical Technique, 2004, 30(2): 182~ 186( in Chinese).

[10] ZHAO M, Sh LI G H. Symmetric beam-splitting polarization prism [J]. Laser Journal, 1991, 12(3): 136~ 139( in Chinese).

[11] 王 芳. 激光技术手册[M]. 西安: 陕西科学技术和出版社, 1986. 528~ 532( in Chinese).

(上接第 669 页)

## 参 考 文 献

[1] ZHANG L, LIU S N, LIN D Y *et al*. The progress of extracting phase information based on spatial carrier fringe pattern analysis [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 90~ 93( in Chinese).

[2] BERND G, HERBERT W. Phase unwrapping with the branch cut method role of phase field direction [J]. Appl Opt, 2000, 39(26): 4802~ 4816.

[3] GHILIA D C, ROMERO L A. Robust two-dimensional weighted and unweighted phase unwrapping that uses fast transforms and iterative methods [J]. JO S A, 1994, A11(1): 107~ 117.

[4] COSTANTINIM. A novel phase unwrapping method based on network programming [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(3): 813~ 821.

[5] FLYNN T J. Two-dimensional phase unwrapping with minimum weighted discontinuity [J]. JO S A, 1997, A14(10): 2692~ 2701.

[6] CHEN C W, ZEBKER H A. Network approaches to two-dimensional phase unwrapping: intractability and two new algorithms [J]. JO S A, 2000, A17(3): 401~ 414.

[7] HUBIG M, SUCHANDT S, ADAM N. A class of solution invariant transformations of cost functions form in minimum cost flow phase unwrapping [J]. JO S A, 2004, A21(10): 1975~ 1987.

[8] CHEN C W, ZEBKER H A. Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization [J]. JO S A, 2001, A18(2): 338~ 351.

[9] BONE D J. Fourier fringe analysis: the two-dimensional phase unwrapping problem [J]. Appl Opt, 1991, 30(25): 3627~ 3632.

[10] QU ROGA J A, GONZALEZ-CANO A, BERNABEU E. Phase unwrapping algorithm based on adaptive criterion [J]. Appl Opt, 1995, 34(14): 2560~ 2563.

[11] MARROQUIN J L, RIVERA M. Quadratic regularization functionals for phase unwrapping [J]. JO S A, 1995, A12(11): 2393~ 2400.