

文章编号: 1001-3806(2012)05-0636-03

Wollaston 棱镜正反向的分束角及分束角的对称性

朱久凯 吴福全* 任树锋

(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: 为了了解 Wollaston 棱镜正反向使用时分束角及分束角的对称性,采用数学运算和实验测试相结合的方法,进行了理论分析和实验验证,取得了较为理想的数据。由分析可知,Wollaston 棱镜正、反向分束角及分束角对称性不同是因为反向入射时第1块棱镜中的 o 光在第2块棱镜中成为 e 光波时,其光矢量振动方向和晶体光轴不平行,对应的不再是主折射率所致。结果表明,Wollaston 棱镜正向使用时的分束角略大于反向入射时的分束角,且 Wollaston 棱镜结构角越大,入射波长越短,则正、反向分束角的差值越大。

关键词: 偏振光学;沃拉斯顿棱镜;正向入射;反向入射;分束角;对称性

中图分类号: O436.3 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.05.015

Forward and backward splitting angles of Wollaston prisms and their symmetry

ZHU Jiu-kai, WU Fu-quan, REN Shu-feng

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

Abstract: In order to find out the forward and backward splitting angles of a Wollaston prism and their symmetry, satisfactory data were obtained by combining mathematical calculations and experimental test. Analysis shows that the main reason of the symmetry difference of the splitting angles is that the o light incident on the first prism becomes e light on the second prism and then does not parallel to the optical axis of the crystal, no longer is caused by the principal refractive indices. The results demonstrate that the splitting angles becomes slightly larger when it is used positively than negatively. Moreover, the wavelength gets more and more shorter as long as the angle of the prism's structure became larger. Besides, the difference value between forward and backward splitting angles will get larger too.

Key words: polarization optics; Wollaston prism; forward incident; backward incident; splitting angle; symmetry

引言

随着激光与偏光应用技术的快速发展,由天然晶体冰洲石制作的偏光分束棱镜,由于具有高透过率、高抗光损伤阈值等优良性能,因而得到了广泛的应用^[1-3]。目前已有多种类型的偏光分束镜,其中 Wollaston 棱镜由于 o 光和 e 光均发生偏折而产生较大的分束角且分束角近似对称,因此,该棱镜是使用量最大的偏光棱镜之一,对其性能的研究也较多^[4-6]。XUE 等人研究了 Wollaston 棱镜对发散光束发散角的影响^[4];ZHANG 和 WANG 等人分别基于 Wollaston 棱镜结构与双 Wollaston 棱镜结构给出了两种对称分束的偏振分束棱镜设计^[5-6]。在 Wollaston 棱镜的实际应用

中发现,入射光束正向和反向通过 Wollaston 棱镜时棱镜产生的分束角大小并不相同,分束角的对称性也有区别。而对称分束偏光镜在激光干涉和直线度测量工作中有非常重要的应用,作者对 Wollaston 棱镜分束角的对称性进行了较为详细的分析,以期对其更好地应用提供有价值的参考。

1 Wollaston 棱镜正反向的分束角

Wollaston 棱镜结构及分光光路如图 1 所示,它是由两个双折射晶体(本文中涉及的是冰洲石晶体)直角棱镜组成,两棱镜的晶体光轴互相垂直。自然光垂直入射于棱镜时,在第 1 个直角棱镜中 o 光和 e 光无折射的沿同一方向传播,但相应的速度 v_o 和 v_e 不同。当 o 光和 e 光先后进入第二棱镜以后,由于第 2 个棱镜的晶体光轴与第 1 个棱镜垂直,所以第一棱镜中的 o 光在第二棱镜中为 e 光,而 e 光变为 o 光,其折射率相应而变,因此两束光在第二棱镜中分开。这样,

作者简介:朱久凯(1987-),男,硕士研究生,主要从事偏光器件和薄膜的设计研究。

* 通讯联系人。E-mail: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期:2012-02-20;收到修改稿日期:2012-03-07

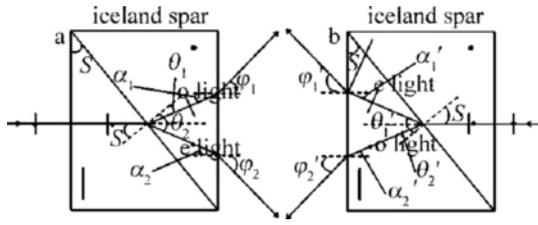


Fig. 1 Forward and backward splitting angles of a Wollaston prism
a—forward incident b—backward incident

经 Wollaston 棱镜的出射端面再次折射而获得分开一定角度且振动方向互相垂直的两束线偏振光。

将图 1a 入射的情况视为正向入射, 则图 1b 入射的情况为反向入射。正向入射时 Wollaston 棱镜的分束角由以下两式给出^[7-8]:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \arcsin [(\sqrt{n_o^2 - n_e^2 \sin^2 S} - n_e \cos S) \sin S] \\ \varphi_2 = \arcsin [(n_o \cos S - \sqrt{n_e^2 - n_o^2 \sin^2 S}) \sin S] \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (2)$$

反向入射时:

$$\varphi_1' = \varphi_1 \quad (3)$$

$$\varphi_2' = \arcsin [(n_o \cos S - \sqrt{n_e^2 - n_o^2 \sin^2 S}) \sin S] \quad (4)$$

$$\varphi' = \varphi_1' + \varphi_2' \quad (5)$$

式中,

$$n_e' = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_e^2 \sin^2 \alpha_1' + n_o^2 \cos^2 \alpha_1'}} \quad (6)$$

$$\alpha_1' = \arccot \left[\frac{\cos S + \sqrt{1 + \frac{n_o^2}{n_e^2} (\cot^2 S - 1)}}{\frac{n_o^2}{n_e^2} - 1} \right] \quad (7)$$

式中 S 为棱镜结构角 n_o 和 n_e 合称为冰洲石晶体的主折射率 φ 和 φ' 分别为正向和反向分束角。对于 633nm ($n_o = 1.65567$ $n_e = 1.48515$) ,取棱镜的结构角 $S = 30^\circ$,由(1)式~(7)式计算的光正、反向垂直入射于 Wollaston 棱镜时分束角与棱镜结构角的光系曲线如图 2 所示。由图中曲线可见: 对于任一只 Wollaston 棱镜而言, 光的正向入射与反向入射所产生的分束角是不一致的, 且正向使用时产生的分束角总是大于反向使用。

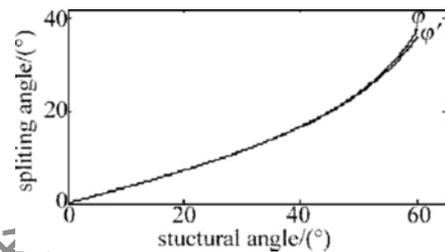


Fig. 2 Curve of splitting angle of a Wollaston prism varying with structure angle

棱镜的结构角 S 分别取 15° 、 30° 和 45° ,分束角随波长的关系曲线如图 3 所示^[9]。由图可以看出: (1) 在可见光光谱范围内, 分束角随波长的增大而减小; (2) 随着结构角的增大, 分束角也相应增大; (3) 随着结构角的增大, Wollaston 棱镜正反向分束角的差值 ($\Delta\varphi = \varphi - \varphi'$) 增大, 且其差值随着波长的增大而减小。

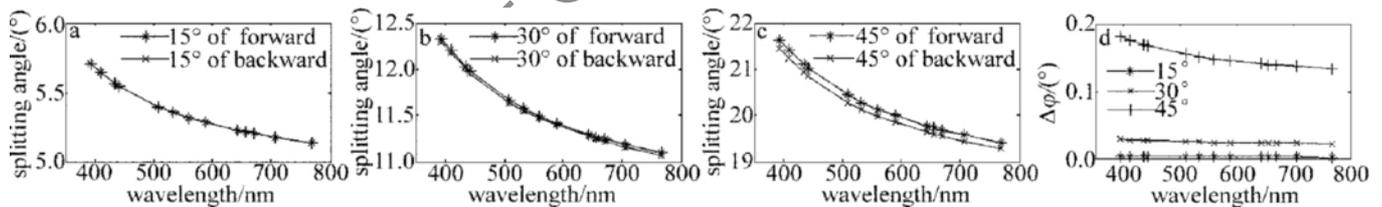


Fig. 3 Curve of the positive and negative splitting angles and the difference value between them in Wollaston prisms with different structure angles varying with the wavelength

2 Wollaston 棱镜正反向分束角的对称性分析

为了分析 Wollaston 棱镜分束角的对称性, 这里仍以 633nm 的光正入射为例, 由(1)式, (3)式, (4)式, (6)式和(7)式计算的 φ_1 、 φ_2 和 φ_2' 与棱镜结构角的关系曲线如图 4 所示。

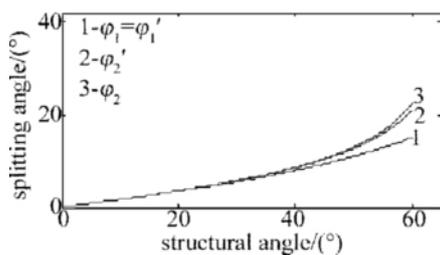


Fig. 4 Curve of splitting angle of Wollaston prism varying with structure angle

由图 4 可以看出: 由于 $\varphi_1 = \varphi_1'$ 、 $\varphi_2 > \varphi_2' > \varphi_1$,因此无论光是正向还是反向入射, Wollaston 棱镜分束角均是不对称的; 但反向时分束角的对称性优于正向, 存在这种区别的原因是光正向入射时棱镜两部分中的 e 光波均取主折射率 n_e ,而反向时出射端部分中的 e 光波的振动方向和晶体光轴不再平行, 因此不再是折射率 n_e ,而取折射率 n_e' 。

棱镜的结构角 S 取 45° ,由(1)式, (3)式, (4)式, (6)式和(7)式计算的 φ_1 、 φ_2 和 φ_2' 与入射光波长的关系曲线如图 5 所示。由图中曲线可见: 对于结构角一定的棱镜, 无论光是正向还是反向入射, Wollaston 棱镜分束角的不对称均是随着波长的增加而减小; 且反向时分束角的对称性总是优于正向。

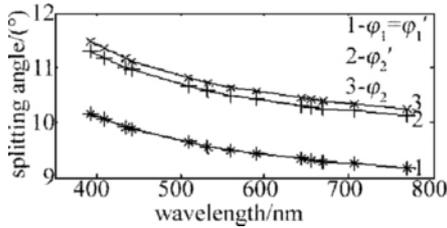


Fig. 5 Curve of splitting angle of Wollaston prism varying with the wavelength

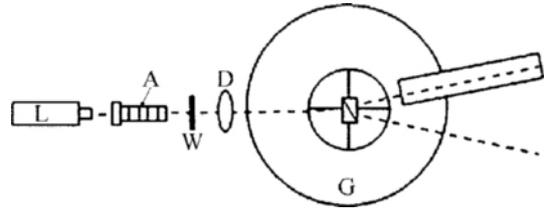


Fig. 6 Light path of experimental test

3 实验测试与结果

测试光路如图6所示,图中L是激光光源,这里使用了405nm,473nm,532nm和633nm 4个波长的激光光源;A是衰减器,将光作适当的衰减,以免刺伤眼睛;W是波片,用以调节经Wollaston棱镜分束的两光束强度基本一致;D是光阑,用以观察Wollaston

棱镜入射端面的反射光,以确认光在样品棱镜上的正入射;G是0.5"测角仪,用以测试光经过样品棱镜的分束角^[10]。

测量了结构角分别为14.33°,27.30°,27.68°和36.87°的4只Wollaston棱镜在405nm,473nm,532nm和633nm正、反向的分束角,根据所测得的数据作出的分束角随波长的变化曲线,如图7所示。

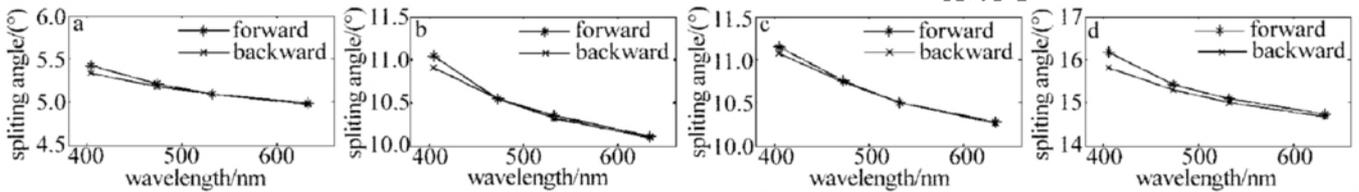


Fig. 7 Experimental curve of positive and negative splitting angles

图8是一只棱镜正反向分束角对称性的测试结果。

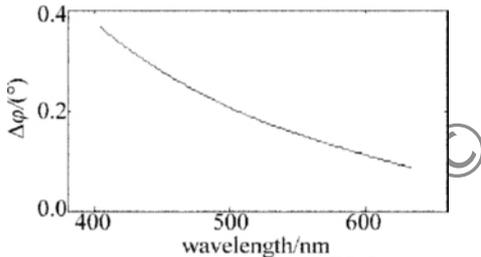


Fig. 8 Curve of symmetry test

以上结果从实验上进一步证实了Wollaston棱镜正对于正反向入射的光其分束角及分束角的对称性是不同的。

4 结论

- (1) Wollaston棱镜正向入射时的分束角略大于反向入射时的分束角,且分束角随入射波长的增大而减小。
- (2) Wollaston棱镜结构角越大,分束角就越大,且分束角随入射波长的变化也越明显。
- (3) Wollaston棱镜结构角越大,入射波长越短,则正、反向分束角的差值越大,即对称性越差。

参考文献

[1] WU F Q, ZHENG Ch H, XUE D. Characteristic study of backward-use

of the Rochan prism [J]. Journal of Optoelectronics • Laser 2002, 13 (10): 1010-1012 (in Chinese).

[2] LI H X, WU F Q, FAN J Y. Studies on optimization problems about transmitted light intensity's perturbation of the Glan-Taylor prism [J]. Laser Technology 2003, 27(6): 597-599 (in Chinese).

[3] MA L L, WU F Q, SONG L K et al. Effects of semarmont prism to different gridding radiuses single-mode gaussian beam [J]. Journal of Qufu Normal University 2008, 34(1): 65-68 (in Chinese).

[4] XUE L, WU F Q, JIANG L L. Effect of Wollaston prism on splitting properties divergent beam [J]. Laser Technology, 2011, 35(6): 833-836 (in Chinese).

[5] ZHANG X, WU F Q, PENG H D, et al. Symmetric beam splitting prism based on wollaston prism [J]. Laser Journal 2008, 29(1): 21-22 (in Chinese).

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

[7] SHI M, WU F Q. The principle design and performance analysis of two-way symmetric splitting angle beamssplitting prism [J]. Acta Photonica Sinica 2006, 35(3): 339-442 (in Chinese).

[8] HAO Zh R, WU F Q, QI X. Influence of optical axis vertical divergence on beam splitting property in Wollaston prism [J]. Laser Journal 2011, 32(5): 8-9 (in Chinese).

[9] LI J Zh. Handbook of optics [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1986: 501 (in Chinese).

[10] DENG H Y, WU F Q, TANG H J. The spectral properties of the splitting angle for Wollaston prism [J]. Laser Journal 2005, 26(4): 42-43 (in Chinese).