

文章编号: 1001-3806(2011)06-0775-03

晶体光轴的不平行对 Glan-Thompson 棱镜性能影响分析

亓欣, 吴福全*, 郝兆荣

(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: 为了分析 Glan-Thompson 棱镜两部分光轴不平行对棱镜性能的影响, 利用冰洲石晶体的双折射特性, 得到了两类晶体光轴不平行时 Glan-Thompson 棱镜出射光束偏离角、消光比和透射比的理论计算公式。结果表明, 晶体光轴的不平行不会对棱镜的消光比造成影响; 而晶体光轴的横向不平行会对出射光束透射比产生一定影响; 晶体光轴的纵向不平行会对出射光束的偏离角产生影响。对于高精度的 Glan-Thompson 棱镜, 由晶体光轴产生的对棱镜透射比和出射光束偏离角的影响是必须要避免的。

关键词: 偏振光学; 偏光棱镜; 晶体光轴; 光束偏离角; 消光比; 透射比

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2011.06.014

Effect of misalignment of the crystal optical axis on the performance of a Glan-Thompson prisms

QI Xin, WU Fu-quan, HAO Zhao-rong

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

Abstract: In order to analyze the effect of the misalignment of crystal optical axis on the performance of a Glan-Thompson prism, the beam deflection angle, the extinction ratio and the transmittance was discussed by theoretical calculation based on the birefringence of iceland spar crystals. The theoretical calculation formulas were given. It is concluded that the misalignment of optical axis of crystal has no effect on the extinction ratio, while the misalignment of transverse direction affects the transmittance to a certain extent, and the misalignment of longitudinal direction affects the beam deflection angle. For high-precision Glan-Thompson prism, the effect of misalignment of optical axis on extinction ratio and beam deflection angle must be avoided.

Key words: polarization optics; polarizing prism; optical axis of crystal; beam deflection angle; extinction ratio; transmittance

引言

随着现代偏光技术及激光应用技术的发展, 各种各样的激光偏光器件^[1-3]得到了越来越广泛的应用。棱镜型的偏光器件因其具有高消光比和大的抗损伤阈值而占有重要的地位。激光偏光器件的应用中最主要的是 Glan 型^[4,6], 而 Glan-Thompson 棱镜^[7,9]因其卓越的性能成为 Glan 家族中的优秀一员。Glan 型棱镜的性能主要取决于消光比、视场角以及出射光束透射比、偏离角等。作者以 Glan-Thompson 棱镜为例, 分析了棱镜前后两部分的晶体光轴不严格平行对棱镜性能的影响。

1 两种类型的晶体光轴不平行

Glan-Thompson 棱镜是由两块用冰洲石做的直角棱镜沿斜面相对胶合而成, 两块晶体的光轴与通光的直角平面平行, 其主截面的结构和光路见图 1。

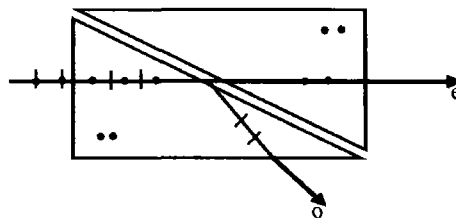


Fig. 1 Light path of Glan-Thompson prism on principal section

由于冰洲石晶体的双折射特性, o 光在胶合面上被全反射, e 光透射而起偏。在理想的情况下, 出射光与入射光是同轴同向的。对于 Glan-Thompson 棱镜来说, 两部分晶体光轴的不平行可以是任意的, 但是总可以将其分解为两种类型。如图 2 所示, 前半部分的晶体光轴与 AB 平行。后半部分的光轴, 一种是横向不

作者简介: 亓欣(1986-), 女, 硕士研究生, 现主要从事偏振光学与器件的研究。

* 通讯联系人。E-mail: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2011-01-17; 收到修改稿日期: 2011-02-25

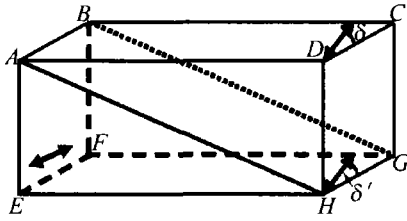


Fig. 2 Two kinds of misalignment of optical axis of crystal

平行,光轴在 $CDGH$ 平面内,与 GH 夹角为 δ ;另一种是纵向不平行,即光轴在 $ABCD$ 平面内,与 CD 夹角为 δ' 。下面就分别分析两类晶体光轴不平行对棱镜性能的影响。

2 晶体光轴横向不平行对棱镜性能的影响

为了方便分析又不失一般性,设 Glan-Thompson 棱镜前后两部分的结构角完全一致,前后端面平行,前半部分晶体光轴垂直于图 1 中的纸面且平行于入射端面,而后半部分的晶体光轴与前半部分的晶体光轴存在如图 3(右下)所示的横向偏差 δ 角(实线双箭头表示后半部分晶体的光轴方向,虚线双箭头表示前半部分晶体的光轴方向)。在垂直于前半部分晶体光轴的平面上,如图 3(左)中“ \circ ”表示后半部分晶体光轴,1,2,3,4 分别代表透光方向上棱镜的 4 个界面。

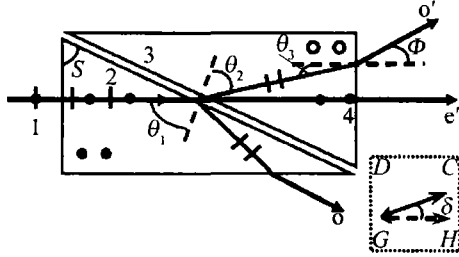


Fig. 3 Light path of a Glan-Thompson prism in the case of the misalignment of transverse direction

当光正入射于棱镜时,由于前半部分的晶体光轴与入射面垂直,入射光虽分解为 o 光和 e 光,但是光线是重合的,只是传播速度不同。在胶合面上, o 光全反射, e 光进入胶合层继续传播到后半部分。由于后半部分存在晶体光轴的横向偏差 δ , e 光波振动矢量将沿垂直和平行晶体光轴方向分解,产生一束 o' 光和一束 e' 光。显然 o' 光会发生偏折;而 e' 光波仍取主折射率,出射方向不会改变,但是振动方向相对前半部分有一个 δ 角的改变;也就是说晶体光轴的横向不平行影响了出射 e' 光的振动方向。

分解的 o' 光是否会影响到棱镜的消光比,关键取决于它出射后是否与 e' 光分开一定角度。下面由图 3 中的角度关系(S 为结构角)分析 o' 光的出射角 Φ 。

由 Snell 定律可知:

$$\begin{cases} n_e \sin \theta_1 = n_o \sin \theta_2 \\ n_o \sin \theta_3 = \sin \Phi \end{cases} \quad (1)$$

由图中几何关系 $\theta_1 = S, \theta_2 + \theta_3 = S$ 可以得到:

$$\Phi = \sin^{-1} \{ n_o \sin [S - \sin^{-1} (n_e \sin S / n_o)] \} \quad (2)$$

上式表明,出射的 o' 光折射角与晶体光轴不平行的程度无关,只与结构角有关。将 $n_o = 1.65567, n_e = 1.48515, S = 71.5^\circ (\lambda = 633\text{nm})$ 代入(2)式,得 $\Phi \approx 22.2^\circ$ 。

可见, o' 光的出射角是足够大的,不会对出射 e 光的消光比造成影响。下面分析晶体光轴的不平行对棱镜透射率的影响。

若 e 光经 1,2,3,4 界面的透射比分别为 T_1, T_2, T_3, T_4 ,入射 e 光的光强为 I_e ,那么 e 光通过界面 2 的光强为 $I_e T_1 T_2$,在胶合面上分解为 o' 光的光强为 $I_e T_1 T_2 \sin^2 \delta$,实际透射的 e' 光的光强 $I_{e,out} = I_e T_1 T_2 (1 - \sin^2 \delta) T_3 T_4$, e 光透射比为:

$$T_e = I_{e,out} / I_e = T_1 T_2 T_3 T_4 \cos^2 \delta \quad (3)$$

对于正入射的光:

$$\begin{cases} T_1 = T_4 = 1 - (n_e - 1)^2 / (n_e + 1)^2 \\ T_2 = T_3 = 1 - \sin^2(\theta_1 - \theta) / \sin^2(\theta_1 + \theta) \end{cases} \quad (4)$$

式中, θ 为 e 光在胶合剂(折射率为 n)中的折射角,由下式给出:

$$n_e \sin \theta_1 = n \sin \theta \quad (5)$$

将 $\theta_1 = S$ 以及(4)式、(5)式代入(3)式得:

$$T_e = [1 - (n_e - 1)^2 / (n_e + 1)^2]^2 \times \left[\frac{\sin^2 \left(S - \arcsin \frac{n_e \sin S}{n} \right)}{\sin^2 \left(S + \arcsin \frac{n_e \sin S}{n} \right)} \right]^2 \cos^2 \delta \quad (6)$$

取 $n_o = 1.65567, n_e = 1.48515, S = 71.5^\circ$,由(6)式得出的 e 光的透射比 T_e 关于晶体光轴的横向偏差 δ 的关系曲线,如图 4 所示。由图中曲线可见:随着 δ 的增加,透射比 T_e 是减小的, δ 增加 $1^\circ, T_e$ 减小不足 0.03% , δ 增加 $2^\circ, T_e$ 减小 0.1% , δ 增加 $10^\circ, T_e$ 减小不足 3% 。 δ 在 2° 以内时,对透射比的影响基本可以忽略。

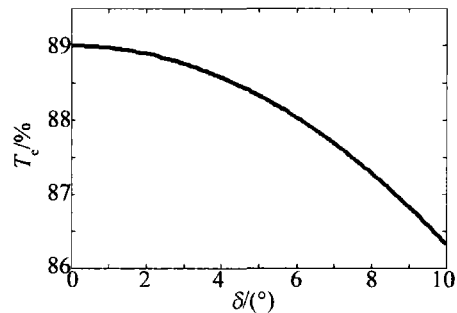


Fig. 4 Transmittance ratio T_e of a Glan-Thompson prism varying with declination angle δ on the transverse direction

3 晶体光轴纵向不平行对棱镜性能的影响

和晶体光轴横向不平行的情况类似,仍然设棱镜的后半部分晶体光轴发生了变化,即在纵向相对于前

半部分的晶体光轴有如图5(右下)所示的纵向偏差 δ' (实线双箭头表示后半部分晶体光轴方向,虚线双箭头表示前半部分晶体光轴方向)。图5(左)中“ Δ ”表示后半部分晶体光轴, S 为结构角, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 为光在晶体中传播时的入射角或折射角。

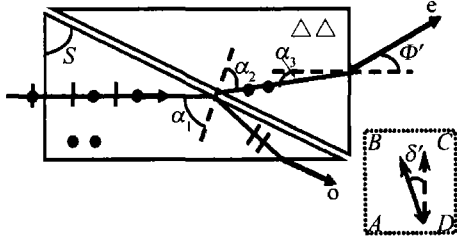


Fig.5 Light path of Glan-Thompson prism in the case of the misalignment of longitudinal direction

当光正入射于棱镜时,在前半部分的光路与前面的分析相同,不同之处在于,在后半部分 e 光不会分

$$\sin\Phi' = \frac{n_e \sin S \sin \left[S - \sin^{-1} \sqrt{\frac{B^2 - 2AC + B\sqrt{B^2 - 4AC - 4C^2}}{2(A^2 + B^2)}} \right]}{\sqrt{\frac{B^2 - 2AC + B\sqrt{B^2 - 4AC - 4C^2}}{2(A^2 + B^2)}}} \quad (10)$$

式中, $A = 2[1 - \sin^2 S (1 - n_e^2/n_o^2) \sin^2 \delta' \cos 2S]$, $B = 2\sin^2 S \times (1 - n_e^2/n_o^2) \sin^2 \delta' \sin 2S$, $C = \sin^2 S (1 - n_e^2/n_o^2) \sin^2 \delta' \times (1 + \cos 2S) - 2\sin^2 S$ 。(10)式即为由 δ' 引起的附加光束偏离角与光的波长、棱镜结构角以及 δ' 的关系式。 $n_o = 1.65567$, $n_e = 1.48515$, $S = 71.5^\circ$ 时,取 $\delta' \in [-5^\circ, 5^\circ]$,由(10)式计算的 Φ' 随 δ 的变化列于表1中。

Table 1 Beam deflection angle Φ' varying with declination angle on longitudinal direction δ'

$\delta'/(^\circ)$	0	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5
$\Phi'/(')$	0	0.2895	1.1573	2.6008	4.6158	7.1966

由表中数据可见,虽然棱镜两部分晶体光轴不平行引起的附加光束偏离角不是很大,但对于高精度的偏光棱镜(光束偏离角小于 $1'$)也应避免这种误差的产生。另外,由于 e 光在棱镜后半部分传播时不会分解,因此对消光比和透射比没有影响。

4 结论

由以上分析可以看出:组成 Glan-Thompson 棱镜两部分晶体光轴的不平行会对棱镜的性能造成影响。

(1) Glan-Thompson 棱镜两部分晶体光轴的横向不平行对出射光束的透射比有影响,正入射时, δ 增加 2° ,透射比 T_e 减小近 0.1%;对出射光束的离散角和棱镜消光比没有影响。

(2) Glan-Thompson 棱镜两部分晶体光轴的纵向不平行只对出射光束的离散角有影响,当 $\delta' = 2^\circ$ 时,对光束偏离角的影响大于 $1'$;对消光比和透射比没有影响。

解;e 光波不再取主折射率,而是由下式给出^[10]:

$$n_e' = n_o n_e / \sqrt{n_e^2 \cos^2 \beta + n_o^2 \sin^2 \beta} \quad (7)$$

式中, β 为 e 光波与晶体光轴的夹角。下面将 β 用下式表示:

$$\cos \beta = \cos(90^\circ - \delta') \cos \alpha_3 = \sin \delta' \cos \alpha_3 \quad (8)$$

由于 e 光波在棱镜前后部分所取得折射率不同,会直接影响出射 e 光相对入射光方向的不准直,即产生光束偏离角,用 Φ' 表示。下面就棱镜两部分晶体光轴的不平行对出射光束偏离角的影响进行分析。由 Snell 定律:

$$\begin{cases} n_e \sin \alpha_1 = n_e' \sin \alpha_2 \\ n_e' \sin \alpha_3 = \sin \Phi' \end{cases} \quad (9)$$

式中, $\alpha_1 = S, \alpha_2 + \alpha_3 = S$ 。

由(7)式、(8)式、(9)式可得:

尽管晶体光轴对棱镜性能的影响并不严重,但对于高精度的 Glan-Thompson 棱镜,由晶体光轴产生的对棱镜透射比和出射光束偏离角的影响是必须要避免的。

参考文献

- [1] ZHANG Sh, WU F Q. The optimum design of ultraviolet polarizing prism of iceland and barium fluoride[J]. Laser Technology, 2007, 31(3):285-287 (in Chinese).
- [2] ZHANG X, WU F Q, HE J, et al. Modified symmetric beam splitting prism[J]. Laser Technology, 2007, 31(6):671-672 (in Chinese).
- [3] ZHAO T Sh, LI G H, PENG H D, et al. Modified Glan-Taylor prism and its characteristics[J]. Chinese Journal of Laser, 2007, 34(10):1383-1387 (in Chinese).
- [4] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P. Analysis of effects of disalignment of the optical axis of crystal on the performance of Glan-Taylor prism [J]. Journal of Qufu Normal University (Natural Science Edition), 2005, 31(1):55-57 (in Chinese).
- [5] WANG C M, SONG L K, WANG L, et al. Effect of incident angle on splitting ratio of Glan polarizing splitting prisms[J]. Laser Technology, 2008, 32(2):212-214 (in Chinese).
- [6] TANG H B, WU F Q, DENG H Y. Transmittance comparison of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism [J]. Laser Technology, 2006, 30(2):215-217 (in Chinese).
- [7] LI J Zh. Handbook of optic [M]. Xi'an: Shaanxi Science Press, 1986:506-512 (in Chinese).
- [8] WANG H F, WU F Q, WANG H L, et al. Research on refractive index of optical cement used in Glan-Thompson prism[J]. Chinese Optics Letters, 2007, 5(2):108-110.
- [9] HONG F, WU F Q, SHAO J P, et al. Effect of exit faced of o ray on splitting Glan-Thompson prism properties analysis[J]. Laser Journal, 2008, 29(5):22-23 (in Chinese).
- [10] LIAO Y B. Polarized optics [M]. Beijing: Science Press, 2003:86 (in Chinese).