

文章编号: 1001-3806(2009)02-0184-03

平行分束偏光镜剪切差的光谱特性研究

吴闻迪, 王召兵*, 吴福全, 刘涛
(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为了更合理地使用平行分束偏光镜, 针对由冰洲石晶体制作的平行分束偏光镜, 从理论上对剪切差的光谱特性进行了分析, 并进行了实验验证。晶体中 e 光线相对 e 光波的最大离散角以及棱镜的剪切差均受入射光波长的影响; 对于一般设计且长度一定的棱镜, 其剪切差随入射光波长的增大而减小, 且紫外波段对剪切差的影响大于可见和红外波段。结果表明, 本研究对平行分束棱镜在宽光谱范围的设计和应用问题的处理具有参考价值。

关键词: 光学器件; 偏振光学; 平行分束偏光镜; 剪切差; 光谱特性

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

Spectral characteristics of displacement for parallel beam splitting prisms

WU Wen-di, WANG Zhao-bing, WU Fu-quan, LIU Tao
(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: The spectral characteristics of the displacement of the parallel beam splitting prism, made of iceland crystal, were analyzed theoretically and experimentally. The results indicated that, the maximum angle between the e rays and the e waves, and the displacement of the prism were influenced by the wavelength of the incident light. For a common parallel beam splitting prism with certain length, the displacement decreased with the increase of the wavelength of incident light, and the influence of the wavelength on the walk-off angle in the ultraviolet wave band was larger than that in visible and near-infrared wave band. The obtained result is favor for the design and application of parallel beam splitting prisms in wider scope.

Key words: optical devices; polarized light; parallel beam splitting prism; displacement; spectral characteristics

引言

偏光分束镜是激光技术与偏光应用技术中的重要器件。就偏光分束棱镜的分束形式而言主要有两种, 一种产生角剪切(通常称分束角), 如 Wollaston 棱镜、Rochon 棱镜等^[1-7]; 另一种产生横向剪切差, 如平行分束偏光镜^[8-10]。平行分束偏光镜主要由天然晶体冰洲石制成, 可将入射光束分成偏振面相互垂直的两束平面偏振光且平行输出, 其中一束沿入射光传播, 另一束则相对于入射光有一平移。该棱镜使用波段范围大, 具有极好的抗光损伤能力, 消光比较高。作者对平行分束偏光镜剪切差的光谱特性进行研究, 为此类棱镜在宽光谱的使用提供理论和实验依据。

1 平行分束偏光镜的剪切差

平行分束偏光镜的单元结构如图 1 所示。某一波长的光垂直射入晶体, 根据折射定律, o 光与 e 光波均

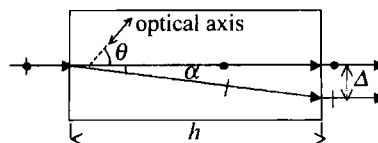


Fig. 1 The structure and light path of the parallel beamsplitting prism
不改变方向, 但 e 光线的传播方向将发生改变, 出射后 o 光, e 光平行出射且 o 光, e 光之间存在一定的横向剪切差。在图 1 中, α 为晶体中 e 光线与 e 光波之间的夹角, 通常称为离散角。设 θ 为晶体光轴与 e 光波法线之间的所成的锐角, Δ 为出射后 o 光, e 光之间的剪切差, h 为棱镜的长度。根据图中的三角关系可得:

$$\Delta = h \tan \alpha \quad (1)$$

$\tan \alpha$ 由下式给出^[11]:

$$\tan \alpha = \left(1 - \frac{n_o^2}{n_e^2}\right) \frac{\tan \theta}{1 + \left(\frac{n_o}{n_e}\right)^2 \tan^2 \theta} \quad (2)$$

式中, n_o, n_e 是晶体中 o 光, e 光的主折射率。

一般情况下, 通常取 $\theta = 45^\circ$, 这时:

$$\tan \alpha = \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2 + n_o^2} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2 + n_o^2} h \quad (4)$$

作者简介: 吴闻迪(1984-), 男, 硕士研究生, 现主要从事偏光棱镜的研究。

* 通讯联系人。E-mail: qufuwang@sina.com

收稿日期: 2008-01-21; 收到修改稿日期: 2008-02-05

由(1)式不难看出,剪切差 Δ 与离散角的正切和棱镜长度 h 成正比关系;对于需要的一定 Δ , h 越小意味着越节约材料,这就需要知道的 e 光波与晶体光轴的夹角为何值时 α 有最大值。欲求 α 的极值,即求 $(\tan\alpha)' = 0$,求导得出:

$$\left(1 - \frac{n_o^2}{n_e^2}\right) \frac{1}{\cos\theta} - \left(\frac{n_o}{n_e}\right)^2 \tan^2\theta \frac{1}{\cos\theta} = 0 \quad (5)$$

解上式,即求 $\frac{1}{\cos\theta} - \left(\frac{n_o}{n_e}\right)^2 \tan^2\theta \frac{1}{\cos\theta} = 0$ 得:

$$\tan\theta = \pm \frac{n_e}{n_o} \quad (6)$$

取 $\tan\theta = \frac{n_e}{n_o}$,代入(2)式得到离散角 α 的最大值为:

$$\alpha_{\max} = \arctan\left(\frac{n_e^2 - n_o^2}{2n_o n_e}\right) \quad (7)$$

而剪切差为:

$$\Delta_{\max} = \frac{n_e^2 - n_o^2}{2n_e n_o} h \quad (8)$$

由(1)式、(4)式、(8)式可知,剪切差 Δ 与 e 光波、晶体光轴之间的夹角 θ 及入射光波长有关,而当 α 取定值和最大值时, Δ 的值仅与入射光波长有关。

2 平行分束偏光镜剪切差的光谱特性分析

下面根据已有冰洲石晶体 o 光, e 光主折射率的数据^[12],在入射波长为 208nm ~ 1497nm 的光谱范围内,对平行分束棱镜剪切差的光谱特性进行分析。

(1)由(1)式可知,对于一定的 h ,剪切差 Δ 是离散角 α 的正切函数,所以首先分析最大离散角 α 的光谱特性,由(7)式得到的最大离散角 α_{\max} 随光波长的变化曲线,如图2所示。

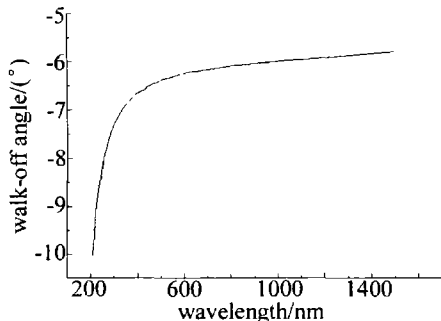


Fig. 2 The relation between the maximum walk-off angle and the wavelength

从图中曲线可以看出:入射光波长越大,离散角的绝对值越小;在紫外波段,离散角随波长变化较快,随着波长的增大,离散角的变化趋势逐渐变缓。这里离散角的负值,一方面说明了冰洲石晶体是负单轴晶体;另外其物理意义表明, e 光线相对于 o 光波是向着远

离晶体光轴的方向离散的。图2也充分说明,按照最大离散角的原理,对于一定长度的棱镜,波长越短,可以获得的剪切差越大。

(2)对于平行分束偏光镜的一般设计($\theta = 45^\circ$),取棱镜长度为 30mm 时,由(3)式、(4)式得到的剪切差 Δ 随光波长的变化曲线如图3所示。从图中曲线

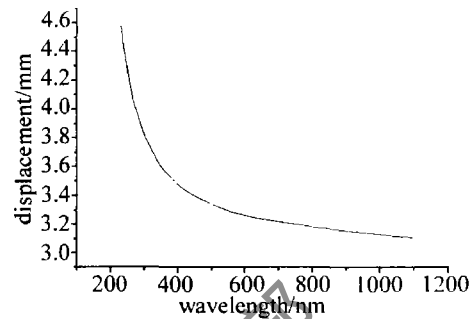


Fig. 3 The relation between the displacement and the wavelength

可以看出:对于一只一般设计的平行分束偏光镜,其剪切差 Δ 随入射光波长的变大而变小,208nm 处的剪切差约为 1497nm 处的 1.5 倍,且波长越短,变化越快。

3 实验验证

实验测试光路如图4所示。激光器发出的光经过

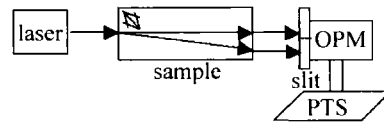


Fig. 4 Experimental set-up

一平行分束偏光镜,产生两束光矢量相互垂直且平行传播的线偏振光;在光功率计(optical power meter, OPM)的光探头前固定一可调狭缝组成探测终端,并将其固定在一分辨率为 $2\mu\text{m}$ 的精密位移台(precision transfer stage, PTS)上。调节位移台的分厘卡,通过狭缝的 o 光与 e 光功率有最大值时精密位移台位移距离之差,即待测样品的剪切差。

实验中分别使用了输出光波长为 532nm, 633nm, 670nm 的激光器;待测样品的长度 h 分别为 30.26mm, 25.10mm, 19.90mm, θ 角均为 45° ;通过测试,选择的狭缝宽度为 0.15mm。实验步骤如下:(1)调节光路,使激光器发出的光垂直入射狭缝;(2)将待测样品放入光路,调节待测样品位置,使光束正入射于样品的入射端面;(3)调节位移台的分厘卡,分别记录 o 光与 e 光通过狭缝后光功率计读数最大时的位置,位置读数之差即待测样品的剪切差,重复测量,取平均值并记录;(4)更换样品,重复步骤(2)、步骤(3);(5)更换光源,重复步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)、步骤(4)。

实验结果及理论计算所得的值(单位为 mm)见表1。从表中数据可见,实验值与理论值符合得较好。

Table 1 The theoretical displacement and the experiment values of the parallel beamsplitting/mm

length of the prism	532nm		633nm		670nm	
	experiment value	theoretical value	experiment value	theoretical value	experiment value	theoretical value
30.26	3.453	3.3440	3.268	3.2757	3.260	3.2578
25.10	2.808	2.7738	2.723	2.7171	2.720	2.7023
19.90	2.227	2.1991	2.122	2.1342	2.119	2.1224

4 结论

对平行分束偏光镜剪切差的光谱特性的理论分析和实验验证表明:(1)对于长度一定棱镜的剪切差仅取决于晶体中 e 光线与 e 光波之间的离散角 α , 而 α 不但与晶体光轴与 e 光波之间所成的锐角 θ 有关, 而且由于 n_o, n_e 的色散而受入射光波长的影响, 因此棱镜的剪切差随入射光波长而变化。(2)对于一般设计长度一定的棱镜, 剪切差随入射光波长的增大而变小; 且在紫外波段受入射光波长的影响较大, 在可见和红外波段, 剪切差的变化趋于平缓。这就提示在较宽的光谱使用平行分束镜时, 一定要注意这种剪切差光谱特性的影响。(3)若棱镜使用于某一确定的波长, 建议在棱镜设计中, 采用由最大离散角 α_{max} 对应的晶体光轴取向。

参考文献

- [1] SU F F, WU F Q, WANG W. Analysis of optical path character of Wollaston prisms in the diversity compound mode [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(6): 680-684 (in Chinese).
- [2] WANG W, WU F Q, SU F F. Symmetric polarization beamsplitting prism based on three-element Wollaston prism [J]. *Optical Technique*, 2004, 30(2): 182-186 (in Chinese).

- [3] 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).
- [4] SHI M, WU F Q. The principle design and performance analysis of two-way symmetric splitting angle beamsplitting prism [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(3): 439-441 (in Chinese).
- [5] 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).
- [6] ZHANG X, WU F Q, HE J, *et al.* Modified symmetric beam splitting prism [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(6): 671-672 (in Chinese).
- [7] WANG H F, WU F Q, HAO D Zh, *et al.* Influence of the refractive index of optical cement on Wollaston prisms' transmitting performance [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(6): 668-670 (in Chinese).
- [8] LI G H, WU F Q. Study on the design of parallel beam splitter [J]. *Journal of Applied Laser*, 1989, 7(4): 215-217 (in Chinese).
- [9] XUE D, WU F Q, LI G H, *et al.* The Matrix representation and application of parallel beam splitter [J]. *Journal of Qufu Normal University (Natural Science)*, 2003, 29(3): 50-52 (in Chinese).
- [10] WU F Q, YU D H, LI G H. The design of the parallel beam splitter with adjustable shear difference [J]. *Journal of Applied Optics*, 1993, 14(6): 22-24 (in Chinese).
- [11] JIANG M H. *Crystal physics* [M]. Ji'nan: Shandong Science & Technology Press, 1980: 202-278 (in Chinese).
- [12] LI J Zh. *Optics handbook* [M]. Xi'an: Shaanxi Sciences & Technology Press, 1986: 500-502 (in Chinese).

(上接第 183 页)

宽, 这样就大大限制了在已铺设的光纤中以光孤子作为信息载体的传输系统的设计, 从而使光纤通信向更高的传输速率发展受到了限制, 所以对光孤子传输系统而言, 必须采取一些控制 PMD 的措施来抑制孤子脉冲的形变。在时域中采用滑频滤波器技术, 把一个带通光学滤波器周期性的放置在传输线上。在频率中采用同步振幅调制技术, 对传输光孤子实行周期性正弦波性调制。

参考文献

- [1] HU X Zh. Study on the PMD coefficient of optical fibers and fiber optic cables [J]. *Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications*, 2006(4): 1-3 (in Chinese).
- [2] WAI P K A, MENYUK C R, CHEN H H. Stability of soliton in randomly varying birefringent fibers [J]. *Opt Lett*, 1991, 16(16): 1231-1233.
- [3] AGRAWAL G P. *Nonlinear fiber optics and applications of nonlinear fiber optics* [M]. Boston: Academic, 2001: 111-158.
- [4] MENYUK C R. Stability of soliton in birefringent optical fibers [J].

Opt Lett, 1987, 12(8): 614-616.

- [5] XUE M Ch. Statistic model for polarization mode dispersion [J]. *Modern Transmission*, 1991, 34(1): 11-15 (in Chinese).
- [6] FOSCHINI G J, POOLE C D. Statistical theory of polarization mode dispersion in single mode fibers [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1991, 9(11): 1439-1455.
- [7] ANGELIS C D, ANDREA G. Time evolution of polarization mode dispersion in long terrestrial links [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1992, 10(5): 552-555.
- [8] PU T, LI Y Q. An approximate solution of non linear Schrödinger equation in optical wave-guide and its application [J]. *Journal of Microwaves*, 2002, 18(2): 28-32 (in Chinese).
- [9] MATSUMOTO M, AKAGI Y. Propagation of soliton in fibers with randomly varying birefringence: effects of soliton transmission control [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, 15(5): 584-589.
- [10] DI J H. Analysis of study methods on polarization mode dispersion in high speed optical fiber communication system [J]. *Modern Electronics Technique*, 2006, 14(15): 21-23 (in Chinese).
- [11] SHEN T G, XIE B Ch, YAO J, *et al.* The effect of high-order dispersion on soliton and the effect of soliton on propagation [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(5): 554-556 (in Chinese).