

文章编号: 1001-3806(2009)06-0661-03

新型平行分束偏光镜的设计研究

任树锋, 徐兴磊

(菏泽学院 物理系, 菏泽 274015)

摘要: 为了既节省稀有昂贵的冰洲石晶体材料, 又实现偏振光的大剪切差输出, 采用冰洲石晶体与光学玻璃组合的方法, 给出了一种新型平行分束偏光镜的设计方案。该棱镜为冰洲石晶体中间夹光学玻璃的结构, 可采取胶合剂和空气隙两种胶合方式。结果表明, 在保持较高消光比和透射比, 又不增加晶体使用量的前提下, 相对于常规平行分束偏光镜, 该棱镜一般可以将剪切差增加3倍以上。

关键词: 光学器件; 偏光镜; 平行分束偏光镜; 剪切差

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2009.06.029

Study on a novel parallel beam splitter

REN Shu-feng, XU Xing-lei

(Department of Physics, Heze University, Heze 274015, China)

Abstract: In order to save the rare iceland and increase the shear difference, a new type of parallel beam splitter, combined iceland with glass, was designed. In the prism, there is a piece of optical glass between two parts of iceland with air gap or glue among them. At the premise of good extinction ratio and high transmittance, and the saving of the iceland, it can be indicated by the theory and experiment that the shear difference of the prism increases 3 times than that of the general parallel beam splitter.

Key words: optics devices; polarizer; parallel beam splitter; shear difference

引言

随着激光应用技术的发展, 出现了各种新形式的偏光器件^[1-4], 平行分束偏光镜^[5-7]便是其中重要一种, 它兼有起偏、分束两种功能, 一般情况可以把一束入射光分解为振动方向相互垂直、出射方向相互平行的两束平面偏振光。这两束平行出射光的垂直间距称为剪切差^[8], 它是表征平行分束偏光镜性能的重要参量。参考文献[6]中给出的是一种单一长方体棱镜式的平行分束偏光镜, 这里称为常规平行分束偏光镜。该棱镜的剪切差 Δ 大小主要由e光在各向异性晶体内的离散角 α 决定, 而一般情况下离散角是一个比较小的角度, 因此该棱镜不易得到较大的剪切差。另外, 该棱镜使用最多的晶体材料为比较昂贵的冰洲石, 成本较高。为了既节省晶体材料, 又实现偏振光的大剪切差输出, 作者采用冰洲石晶体与光学玻璃^[9-13]组合的方法, 给出了一种新型平行分束偏光镜的设计。

1 棱镜的分析与设计

该棱镜的主截面结构及其光路如图1所示。棱镜

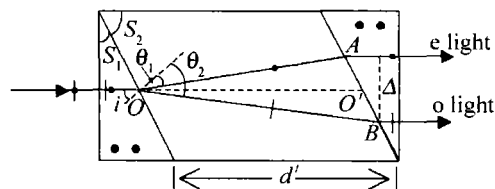


Fig. 1 Novel design of combination of iceland and glass parallel beam splitter

的前后两部分为大小、形状相同冰洲石晶体材料的直角三棱镜, 且晶体光轴平行于入射(或出射)端面与切割面的交线, 中间为光学玻璃材料的平行四边形棱镜。三者通过胶合剂组合在一起, 形成一个矩形主截面。其中, 光学玻璃和胶合剂的折射率一般介于冰洲石晶体中o光和e光折射率之间; 为了提高棱镜的抗光损伤阈值, 也可采用空气隙的形式胶合, 但这样会使透射比有所降低。光线垂直入射, 在前后两个胶合面的交点分别为 O, O' 。在入射端的冰洲石晶体内分成共线但折射率不同的o光和e光, 这两束光在进入各向同性的光学玻璃后偏折方向不同, 会形成一个较小的分束角。图1中, i 为入射端胶合面的入射角, θ_1, θ_2 分别为原e光和o光在光学玻璃中的折射角, A, B 分别为

作者简介: 任树锋(1979-), 男, 讲师, 现从事物理学教学工作。

E-mail: renshufeng7909@163.com

收稿日期: 2008-09-26; 收到修改稿日期: 2008-12-11

它们在出射端胶合面的入射点。又因为该棱镜为对称结构,所以,两束出射的平面偏振光在出射端的晶体内必定与原入射光平行。而出射端为冰洲石晶体,这就保证了出射光的消光比^[13]。

首先选择折射率介于冰洲石晶体中o光和e光之间的K9玻璃。对应波长532nm,冰洲石晶体中o光、e光和K9玻璃的折射率分别为 $n_o = 1.66277$, $n_e = 1.48841$, $n_b = 1.51900$;对于胶合剂,实验样品选用 $n_d \approx 1.530$ 的冷杉树脂胶,可以大大减小胶合面上的反射损失;光学玻璃与胶合剂选定后,棱镜的设计就主要是确定其结构角。为了尽量节省晶体材料,又使棱镜有较大的剪切差,取冰洲石部分的结构角 $S_1 = 30^\circ$,则光学玻璃部分的结构角为 $S_2 = 60^\circ$ 。

2 性能分析与测试

在这里主要研究该棱镜的剪切差、平行度、透射比和消光比。

2.1 剪切差

在冰洲石晶体使用量相当的情况下,将常规平行分束偏光镜和新设计棱镜的剪切差做以比较。常规平行分束偏光镜的主截面结构及其光路如图2所示,由

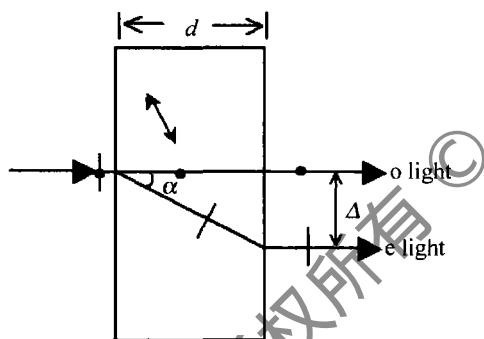


Fig. 2 Normal parallel beam splitter

图中的几何关系可以得到其剪切差 Δ 与棱镜截面长度 d 、离散角 α 的关系式:

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

由图1中的几何关系可以得到冰洲石-玻璃组合平行分束偏光镜的剪切差 Δ 的表达式:

$$\Delta = d' \left[\frac{\sin(i - \theta_1)}{\cos \theta_1} + \frac{\sin(\theta_2 - i)}{\cos \theta_2} \right] \quad (2)$$

式中,

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{n_e \sin i}{n_b} \right) \quad (3)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{n_o \sin i}{n_b} \right) \quad (4)$$

$$i = S_1 \quad (5)$$

取 $d = 1\text{cm}$, $\alpha = 6^\circ$,将它们带入(1)式可得剪切差 $\Delta = 0.105\text{cm}$;取 $d' = 5\text{cm}$,并将 $S_1 = 30^\circ$, $\lambda = 532\text{nm}$ 时的折

射率值 $n_o = 1.66277$, $n_e = 1.48841$, $n_b = 1.51900$ 依次代入(5)式、(4)式、(3)式、(2)式,可得剪切差 $\Delta = 0.400\text{cm}$ 。可见,在不增加冰洲石晶体使用量的情况下,通过与光学玻璃组合的方法可以使棱镜的剪切差大大增加。

2.2 平行度

由于棱镜为对称结构,因此在理论上,e光和o光的出射方向与入射光完全一致,两者应该绝对平行。对于实验样品,只要严格控制加工误差,即可实现理想的平行度。

2.3 消光比

对于该棱镜,作者比较关心的一个问题是光学玻璃是否会影响消光比,因此搭建了如图3所示的测量

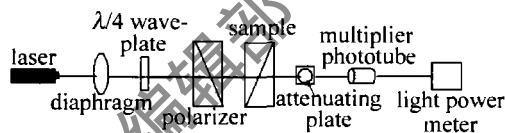


Fig. 3 The test-chat of extinction ratio

光路对样品的消光比进行测试。消光比测量需要得到两个透射光强,一个是最大透射光强,一个是与之垂直方向上的透射光强,即最小光强。这两个光强都靠旋转图3中的起偏镜得到。为了得到最小透射光强,使用了光电倍增管;为了减小测量误差和光电倍增管的安全使用,在测量最大透射光强时,光电倍增管前使用了经过定标的衰减片。用最小光强除以最大光强即可得到棱镜样品两束出射光的消光比。

对473nm,532nm,633nm,670nm 4个波长的光源测试得到的棱镜样品两束出射光的消光比见表1。

Table 1 The test results of extinction ratio

	473nm	532nm	633nm	670nm
extinction ratio of e light	6.52×10^{-6}	5.66×10^{-6}	7.38×10^{-6}	6.74×10^{-6}
extinction ratio of o light	3.73×10^{-6}	5.24×10^{-6}	6.38×10^{-6}	4.90×10^{-6}

由表中结果可以看到,由于出射端为冰洲石晶体,因此,出射的两束光的消光比与常规平行分束偏光镜相当,即优于 10^{-5} 。

2.4 透射比

由于透射比不是影响平行分束偏光镜性能的主要参量,只在可见光波段对其做理论上的分析。这里主要考虑由光在各界面的反射所引起的光能损耗,而忽略吸收造成的微弱影响。在垂直入射的情况下,o光和e光在入射或出射两个端面上的反射损失均可由公式:

$$R_{\perp} = \left[\frac{(n-1)}{(n+1)} \right]^2 \quad (6)$$

计算得到。将相应折射率值代入(6)式,可得 o 光和 e 光在两个面上的总反射损失分别约为 12.4%, 7.7%; o 光在胶合层每个面上的反射损失可以由下式得到:

$$R_o = \frac{\tan^2(i - \theta_2)}{\tan^2(i + \theta_2)} \quad (7)$$

e 光在胶合层每个面上的反射损失可以由下式得到:

$$R_e = \frac{\sin^2(i - \theta_1)}{\sin^2(i + \theta_1)} \quad (8)$$

将相应数据代入(7)式、(8)式可得 o 光和 e 光在胶合层两个面上的总反射损失分别约为 0.16%, 0.036%。可见,两束光在胶合层上的反射损失非常微弱,因此,可忽略胶合面上的多次反射对透射光的影响。

由以上分析可知,该棱镜的 o 光透射比在 85% 以上, e 光透射比在 90% 以上,与常规平行分束偏光镜相当。

3 结论

理论分析和实验测试均表明:冰洲石-玻璃组合平行分束偏光镜不仅节省了冰洲石晶体材料,还实现了平行偏振光的大剪切差输出;棱镜参量基本没有受到光学玻璃的影响,保持了与纯冰洲石晶体材料偏光器件相当的一些性能,如消光比和透射比。因此,该棱镜是对传统偏光器件的一个突破和创新,在一定条件下,势必可以取代常规平行分束偏光镜,得到较好的应用。

参考文献

[1] JIN G F, LI J Zh. Laser metrology [M]. Beijing: Science Press, 1998:

(上接第 660 页)

- [5] LI B Ch. Experimental optimization of the output performance of a all-solid-state pulsed Nd:YAG laser [J]. Laser Technology, 2007, 31(2):144-146(in Chinese).
- [6] WANG N, LU Y T, KONG Y. Analysing the light intensity distribution of super-Gaussian mirror resonator by fast fourier-transform [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(11):1317-1322(in Chinese).
- [7] DU Y Y. Stimulation of confocal unstable resonators using thin gain sheet [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2000, 12(3):301-305(in Chinese).
- [8] LÜ B D. Solid-state laser [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2002:113-138(in Chinese).

219-226(in Chinese).

- [2] LI G H, WU F Q. The design of the double reflection parallel beam splitter [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 1990, 1(1):43-47(in Chinese).
- [3] LI G H, WU F Q. Study on super high transmittance polarizing prism [J]. Chinese Journal of Lasers, 1989, 16(5):313-315(in Chinese).
- [4] WU F Q, LI G H, SONG L K, et al. Study on efficient polarizing prism [J]. Chinese Journal of Lasers, 1995, 22(1):37-39(in Chinese).
- [5] LI G H, WU F Q. The design of the parallel beam splitter [J]. Applied Laser, 1988, 7(4):215-217(in Chinese).
- [6] WU F Q, YU D H, LI G H. The design of a parallel beam splitting device with adjustable beam-displacement [J]. Journal of Applied Optics, 1993, 14(6):22-24(in Chinese).
- [7] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P. Design of parallel beam splitter whose shear difference is insensitive to incident angle [J]. Optical Technique, 2005, 31(5):749-750(in Chinese).
- [8] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P, et al. Combination of iceland and glass ternary parallel beam splitter [J]. Laser Technology, 2006, 30(3):311-312(in Chinese).
- [9] YAO L Y, ZHENG W Ch, GU X M, et al. Optical material and accessories [M]. Beijing: Weapons Industry Press, 1995:1-80(in Chinese).
- [10] REN Sh F, WU F Q, TANG H J, et al. Ternary super high transmittance of o light polarizing prism [J]. Optical Technique, 2006, 32(2):216-218(in Chinese).
- [11] REN Sh F, WU F Q, TANG H J, et al. Combination of iceland and glass super high transmittance of o light polarizing prism [J]. Laser Journal, 2006, 27(1):29-30(in Chinese).
- [12] WU F Q, REN Sh F, TANG H J, et al. Combination of iceland and glass super high transmittance of e light polarizing prism [J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(2):116-119(in Chinese).
- [13] LI G H, ZHAO M Sh, WU F Q. Study of a measurement system for high extinction ratio [J]. Chinese Journal of Lasers, 1990, 17(1):51-53(in Chinese).

- [9] SUJECKI S. Stability of steady-state high-power semiconductor laser models [J]. J O S A, 2007, B24(5):1053-1060.
- [10] SIEGMAN A E, MILLER H Y. Unstable optical resonator loss calculations using the Prony method [J]. Appl Opt, 1970, 9(12):2729-2736.
- [11] OUGHSTUN K E. Intracavity adaptive optic compensation of phase aberrations. I: analysis [J]. J O S A, 1981, 71(7):862-872.
- [12] CUBALCHINI R. Modal wave-front estimation from phase derivative measurements [J]. J O S A, 1979, 69(7):972-977.
- [13] ZOU W Y, ROLLAND J P. Iterative zonal wave-front estimation algorithm for optical testing with general-shaped pupils [J]. J O S A, 2005, A22(5):938-951.