

文章编号: 1001-3806(2008)02-0154-03

# 转向型复合式平行分束棱镜的新设计

贾 朋, 李国华\*, 彭捍东

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为了更有效地增大光通过平行分束棱镜时产生的剪切差, 以方便实验中光路的搭建, 运用棱镜光扩束原理和菲涅耳公式对棱镜进行了优化设计, 得到了一种新型的转向型复合式平行分束棱镜。经理论分析和举例论证, 其在高透射比的基础上, 很好地实现了增大剪切差的效果, 并伴有光路转向的作用, 具有较高的使用价值和实用性。

关键词: 光学器件; 剪切差; 平行分束棱镜; 透射比; 光强

中图分类号: O436.3 文献标识码: A

## New design of turning composite parallel splitting prism

JIA Peng, LI Guo-hua, PENG Han-dong

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

**Abstract** In order to increase the lateral shearing distance when light transits the parallel splitting prism, as well as facilitate the path building of rays in the experiment, the prism design was optimized based on the prism light scattering beam principle and Fresnel formula and a new kind of turning composite parallel splitting prism was obtained. Analytical and experimental results prove that the lateral shearing distance is extended accompanying with deflecting function if the prism is with high transmissivity, which is valuable and practical.

**Key words** optical devices; lateral shearing distance; parallel splitting prism; transmissivity; light intensity

### 引 言

平行分束棱镜由天然晶体冰洲石制作而成<sup>[1-2]</sup>, 该棱镜的几何结构是光轴方向和棱镜通光端面成  $45^\circ$  角。光通过棱镜分束成相互垂直的两束平面偏振光平行输出, 两束光之间的距离称为剪切差。而光通过平行分束棱镜产生的剪切差  $d$  一般很小, 即使一只长 10mm 的棱镜, 剪切差  $d$  也仅有 1.1mm。如果要使剪切差  $d = 3\text{mm}$ , 棱镜的长度需要达到 30mm, 这对价格昂贵的冰洲石材料而言是很不经济的。为此, 利用棱镜光扩束原理和菲涅耳公式<sup>[3-5]</sup>, 对其进行重新的讨论和组合, 并进行优化理论分析, 得到了转向型复合式平行分束棱镜的新设计。

### 1 设计原理

设计光路如图 1 所示, 图中 a 为平行分束棱镜, b、c 为两相同的直角三角形棱镜, 顶角为  $\alpha$ , 实现光路的转向和扩束。为了实现  $d_3/d_1 > 1$  的效果, 同时简化

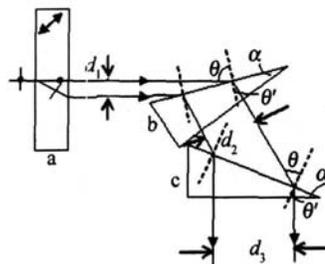


Fig 1 The design of parallel splitting prism

设计, 令平行光经直角棱镜出射时光路垂直于其出射端面。

两棱镜设计为等角入射, 设入射角为  $\theta$ , 出射角为  $\theta'$ , 则有:

$$n_0 \sin \theta = n \sin \theta' \quad (1)$$

由上述等角入射和转向棱镜光线垂直出射的条件, 得到  $\theta' = \alpha$ , 则转向角度  $A$  的大小表示为:

$$A = 2(\theta - \theta') \quad (2)$$

由图中所示几何关系, 可得:

$$\begin{cases} \frac{d_1}{d_2} = \frac{\cos \theta}{\cos \alpha} \\ \frac{d_2}{d_3} = \frac{\cos \theta}{\cos \alpha} \end{cases} \quad (3)$$

由上式关系得:

$$\frac{d_3}{d_1} = \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \theta} = \frac{1 - \sin^2 \alpha}{1 - n^2 \sin^2 \alpha} \quad (4)$$

由 (2) 式所示关系看出:  $d_3/d_1 > 1$ , 即光线通过复合棱

作者简介: 贾 朋 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学晶体偏光特性及偏光器件方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: gh1@163.com

收稿日期: 2007-01-15; 收到修改稿日期: 2007-03-09

镜后, 两光路的剪切差增大, 达到了扩束的目的, 而且扩束能力的大小与棱镜顶角  $\alpha$  和棱镜本身折射率的大小有关。下面讨论三者之间的变化关系, 并给出最佳设计方案。

## 2 优化设计理论

设计过程中必须考虑的问题是复合棱镜的光强透射比问题<sup>[6-7]</sup>。从平行分束棱镜中出射的两束平面偏振光  $o$  光和  $e$  光, 在棱镜两个表面的反射比分别为:

$R_{o1}, R_{o2}, R_{e1}, R_{e2}$  由菲涅耳公式有:

$$R_{o1} = \left[ \frac{n_1 \cos i_1 - n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} \right]^2 = \left[ \frac{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} - n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} + n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \right]^2, R_{o2} = \left[ \frac{n - 1}{n + 1} \right]^2 \quad (5)$$

$$R_{e1} = \left[ \frac{n_2 \cos i_1 - n_1 \cos i_2}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} \right]^2 = \left[ \frac{n \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{n \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} + \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \right]^2, R_{e2} = \left[ \frac{n - 1}{n + 1} \right]^2 \quad (6)$$

式中,  $n_1$  为入射介质折射率,  $n_2$  为出射介质折射率,  $i$  为入射角,  $n$  为复合棱镜折射率。则总的光强透射比  $T_o, T_e$  分别为:

$$T_o = (1 - R_{o1})^2 (1 - R_{o2})^2 = \left[ 1 - \left( \frac{n - 1}{n + 1} \right) \right]^2 \times \left[ 1 - \left( \frac{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} - n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} + n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \right) \right]^2 \quad (7)$$

$$T_e = (1 - R_{e1})^2 (1 - R_{e2})^2 = \left[ 1 - \left( \frac{n - 1}{n + 1} \right) \right]^2 \times \left[ 1 - \left( \frac{n \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{n \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha} + \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \right) \right]^2 \quad (8)$$

由 (7) 式、(8) 式可以看出, 光强透射比和复合棱镜的折射率  $n$  以及顶角  $\alpha$  取值有关, 其大小随折射率  $n$  以及棱镜顶角  $\alpha$  的变化曲线分别如图 2 和图 3 所示。

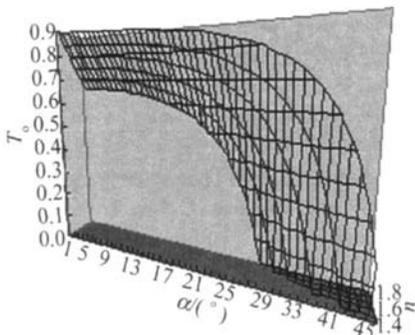


Fig 2 The changes of  $T_o$  with  $\alpha$  and  $n$

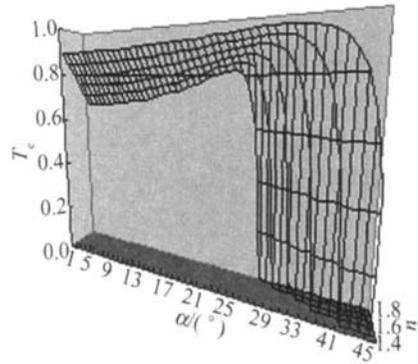


Fig 3 The changes of  $T_e$  with  $\alpha$  and  $n$

由图中所示知, 两透射比随棱镜顶角  $\alpha$  的改变有着不同的变化轨迹, 但是, 两者都随折射率  $n$  的增大而减小, 所以, 以此看来, 在选择制造材料时, 倾向于折射率较高的玻璃材料, 但实际中还要考虑扩束作用随棱镜顶角和折射率的变化情况, 即  $d_3/d_1$  随  $\alpha$  和  $n$  的变化曲线, 如图 4 所示。

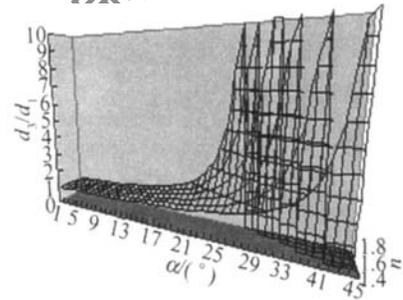


Fig 4 The changes of  $d_3/d_1$  with  $\alpha$  and  $n$

由图 4 得:  $d_3/d_1$  的大小随  $\alpha$  和  $n$  的增大而增大, 其变化规律与透射比的变化相反, 所以, 制造转向型复合式扩束平行分束棱镜, 必须综合考虑三者变化的情况, 取长补短, 以得到优化设计的目的。然而, 在  $\alpha$  和  $n$  都不确定的情况下泛泛的去寻找最合理的方案是很难的, 而且实际应用中往往不采用这种方法。相比之下, 先确定折射率  $n$  和  $d_3/d_1$  的值, 然后去计算棱镜顶角  $\alpha$  和透射比  $T$  的方案更具有可操作性和实用性。

## 3 实例论证

下面以折射率  $n = 1.60$  的晶体为实例, 阐述设计制作的过程。

将  $n = 1.60$  分别代入 (4) 式、(7) 式、(8) 式, 得到当  $n = 1.60$  时  $d_1/d_3, T_o, T_e$  随  $\alpha$  和  $n$  的变化曲线如图 5 所示。为了在同一坐标系中表示各变量的变化情况, 以便于比较, 此处用  $d_1/d_3$  来表示  $d_3/d_1$  变化规律。从图中的变化关系得, 要设计最理想的转向型复合式扩束平行分束棱镜, 必须在寻求最大扩束的基础上保证有较高的透射比。

设计讨论: (1) 当设计为双光束输出时, 可以选择

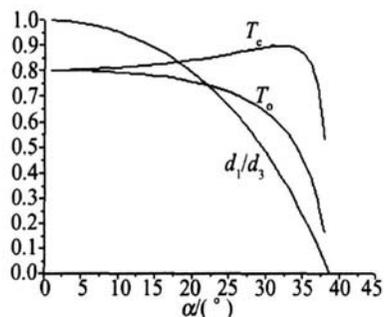


Fig 5 The changes of  $d_1/d_3$  and  $T$  with  $\alpha$  ( $n = 1.6$ )

适当的  $\alpha$  值,使两束光具有较高的透射比且相差不大,同时剪切差达到一个理想的值。选取  $d_3/d_1 = 2$  则  $\alpha = 29.5^\circ$ ,  $T_e = 89\%$ ,  $T_o = 65\%$ ,  $\theta = 52^\circ$ , 转角  $A = 45^\circ$ , 剪切差可达 2.4mm。此时两束光光强相差不大,均具有较高透射比。(2)当设计为单光束输出时,取  $d_3/d_1 = 3$   $\alpha = 33.2^\circ$ ,  $T_e = 89.3\%$ ,  $T_o = 54.3\%$ ,  $\theta = 52^\circ$ , 转角  $A = 56^\circ$ , 剪切差可达到 3.6mm。此时,光路剪切差非常理想。(3)当  $\alpha = 38.4^\circ$  时,转角  $A = 90^\circ$ , 此时光的透射比较低,只有 30% 左右,但  $d_3/d_1 \approx 45$  能应用在一些微光探测实验中。

#### 4 误差分析

实验测试的误差主要来自两个方面,一个是材料的研磨误差,另一个是组合角度的定标误差<sup>[8-9]</sup>。

首先,对于材料的研磨而言,现在已经有了很精密的测量技术,但仍存在一定的误差,实际测试器件的研磨工艺精度也只能达到 2'。

其次,各组合部分在胶合过程中组合角度的定标存在一定的误差,现在的工艺水平能达到 2% 的误差范围内已经很不错了。而目前折射率的测量水平也只能精确到 0.01。

另外,在实验过程中存在仪器调节精度和操作的误差因素<sup>[10]</sup>。故得到的测量值与理论值有一定的误差。

#### 5 结 论

通过对设计理论的分析 and 设计实例的讨论知道,此新的设计具有高透射比、剪切差大、制作价格低廉和设计可选择性强的优点。器件在使用时光路会有相应的转向,这会一定程度上减小光路搭建的直线长度,节约实验平台的使用空间。但是,在各器件的组合固定时应注意明确各角度的值,其大小均可由上述设计理论得出。就目前的研磨和定标水平而言,完全可以制造出上述设计理论下的高质量成品,所以,此设计是可行的,在激光偏光领域将会有广泛的使用空间。

#### 参 考 文 献

- [1] LI G H. Optics [M]. Jinan Educational Press of Shandong 1991: 404-442 (in Chinese).
- [2] GAO H O, PEI Q K. The design of Glan-Taylor prism [J]. Laser Technology, 1994, 18(3): 185-189 (in Chinese).
- [3] JIN G F, LI J Zh. Study of laser measurement [M]. Beijing Science Press 1998: 219-227 (in Chinese).
- [4] LI J Zh. Handbook of optics [M]. Jinan Science Technology Publishing House of Shandong 1986: 582 (in Chinese).
- [5] BORN M, WOLF E. Optical principle [M]. Beijing Science Press 1978: 61-64 (in Chinese).
- [6] TANG H J, 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 H, SONG L K, LI G H. Orientation effect on phase retardation of compound binary zero-order waveplate [J]. Acta Optica Sinica 2002 22(12): 1438-1441 (in Chinese).
- [8] WANG N, LI G H. A simple way of determining the phase delay angle of waveplate [J]. Journal of Qufu Normal University (Natural Science Edition), 2001, 27(6): 47-49 (in Chinese).
- [9] ZHENG Ch H, SONG L K. Optimizational design scheme for three-in-one composite achromatic  $\lambda/4$  waveplate [J]. Chinese Journal of Lasers 2004, 31(6): 662-664 (in Chinese).
- [10] SONG L K, LI G H. Design of the three element combination achromatic retarder made of mica and quartz [J]. Journal Optoelectronics • Laser 2000, 11(1): 51-53 (in Chinese).
- [4] BORN M, WOLF E. Principle of optics [M]. Beijing Science Press 1978: 58-59 (in Chinese).
- [5] LIAO Y B. Polarization optics [M]. Beijing Science Press 2003: 93 (in Chinese).
- [6] SONG Zh L, LIU L R. Reflection and transmission of extraordinary beam at uniaxial crystal surfaces [J]. Acta Optica Sinica 2004 24(12): 1701-1704 (in Chinese).
- [7] 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).
- [8] LI J Zh. Optics hand book [M]. Xi'an Shanxi Science and Technology Press 1986: 500 (in Chinese).
- [9] TANG H J, 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).
- [10] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P, et al. Ternary parallel beam splitter combined of Iceland and glass [J]. Laser Technology, 2006 30(3): 311-312 (in Chinese).

(上接第 153 页)