

文章编号: 1001-3806 (2008) 02-0212-03

## 格兰式偏光分束棱镜光强分束比的入射角效应

王葱敏, 宋连科\*, 王 兰, 李 华  
(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了分析自然光斜入射格兰式分束棱镜时光强分束比随入射角度、棱镜结构角及入射波长的变化关系, 根据几何关系、菲涅耳公式及相位匹配条件从理论上推导出光强分束比的数学表达式, 并通过了实验验证。结果表明, 光强分束比随入射角度、棱镜结构角及波长变化呈非线性关系。所得结果为格兰式棱镜在光学器件应用中提供了有用的信息。

**关键词:** 光学器件; 分束棱镜; 分束比; 入射角; 波长

**中图分类号:** O435 **文献标识码:** A

### Effect of incident angles on splitting ratio of Glan polarizing splitting prisms

WANG Congmin, SONG Lianke, WANG Lan, LI Hua  
(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

**Abstract:** In order to analyze the relationships of the light intensity splitting ratio with the incident angle, the prism's structural angle and the incidence wavelength's variation with the light beam coming from natural light's oblique incidence to Glan polarizing splitting prism, the mathematical formula of the light beam are deduced according to the geometric relationship, Fresnel formula and phase matching conditions. Through the analysis, a conclusion is drawn that the light beam assumes the nonlinear relationship with the incidence angle, the prism's structural angle and the incidence wavelength's variation, which provides useful information for the development of Glan polarizing splitting prism as optical devices.

**Key words:** optical devices; splitting prisms; splitting ratio; incident angle; wavelength

### 引 言

格兰式偏光分束棱镜是常用的偏光分束器件之一, 广泛地应用于现代偏光技术及激光应用技术中。此种器件的消光比<sup>[1]</sup>、透射比<sup>[2-4]</sup>及光强分束<sup>[5-6]</sup>比是比较重要的技术指标, 对其分析研究通常局限于正入射情况下<sup>[7]</sup>。然而在实际应用中, 并不能保证光严格垂直入射, 或者根本不需要严格控制入射角度, 只要求入射光束在其视场范围内就可, 因此, 有必要知道在非正入射情况下偏光分束棱镜光强分束比与入射角度、棱镜结构角及使用波长的关系。

### 1 光强分束比与入射角的关系

为方便分析, 做如下约定: (1) 凡涉及到与光有关的角度均以从光线到界面法线逆时针为正, 顺时针为负; (2) 分析所涉及到的入射角度均在视场角以内; (3) 由于所讨论的入射角度比较小, 所以 e 光波的折射率近似等于其主折射率。

作者简介: 王葱敏 (1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事偏光测量及偏振器件设计方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: lksong@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2007-01-15; 收到修改稿日期: 2007-03-13

o 光, e 光在偏光分束镜中的光路如图 1、图 2 所示, o 光经过 1, 2, 5 界面, e 光经过 1, 2, 3, 4 界面。由

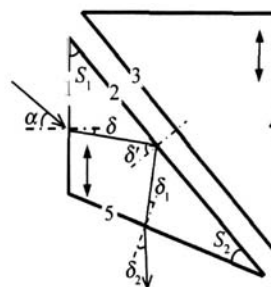


Fig 1 The light path of o light through the crystal

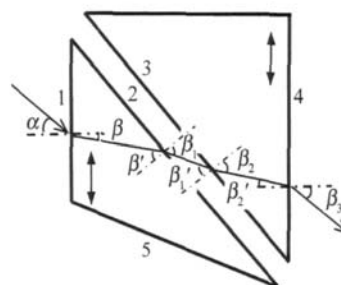


Fig 2 The light path of e light through the crystal

于界面 1, 4 平行, 界面 2, 3 平行, 前后两部分棱镜中晶体光轴方向是一致的, 因此 e 光出射后相对入射光方向不变。对于 e 光而言, 在 1, 4 界面上由折射定律<sup>[8]</sup>得:

$$\begin{cases} \sin\alpha = n_e \sin\beta \\ n_e \sin\beta_2' = \sin\beta_3 \end{cases} \quad (1)$$

$n_o, n_e$  为晶体中 o 光, e 光波主折射率, 由于  $\beta = \beta_2'$ ,  $\beta_3 = \alpha$ , e 光在界面 1, 2, 3, 4 上的反射系数  $R_{e1}, R_{e2}, R_{e3}, R_{e4}$  由菲涅耳公式<sup>[8]</sup>可得:

$$\begin{cases} R_{e1} = R_{e4} = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)} \\ R_{e2} = R_{e3} = \frac{\tan^2(\beta' - \beta_1)}{\tan^2(\beta' + \beta_1)} \end{cases} \quad (2)$$

由图中几何关系:  $\sin\alpha = n_e \sin\beta$   
 $\beta' = S_1 + \beta$   
 $n_e \sin\beta' = \sin\beta_1$  (3)

式中,  $S_1$  为结构角, e 光透射比为:  $I_e = (1 - R_{e1})^2 (1 - R_{e2})^2$ , 将 (2) 式和 (3) 式代入可得:

$$I_e = 1 - \frac{\tan^2(\alpha - A)}{\tan^2(\alpha + A)} \times \left\{ 1 - \frac{\tan^2[S_1 + A - \sin^{-1}[n_e \sin(S_1 + A)]]}{\tan^2[S_1 + A + \sin^{-1}[n_e \sin(S_1 + A)]]} \right\}^2 \quad (4)$$

式中, 令  $A = \sin^{-1}(\sin\alpha/n_e)$ 。

对于 o 光而言, 由于在 2 界面发生全反射, 只需考

$$F = I_o/I_e = \frac{\left[ 1 - \frac{\tan^2(\alpha - A)}{\tan^2(\alpha + A)} \right]^2 \left\{ 1 - \frac{\tan^2[S_1 + A - \sin^{-1}[n_e \sin(S_1 + A)]]}{\tan^2[S_1 + A + \sin^{-1}[n_e \sin(S_1 + A)]]} \right\}^2}{\left[ 1 - \frac{\tan^2(\alpha - B)}{\tan^2(\alpha + B)} \right]^2 \left\{ 1 - \frac{\tan^2[S_1 + B - S_2 - \sin^{-1}[n_o \sin(S_1 + B - S_2)]]}{\tan^2[S_1 + B - S_2 + \sin^{-1}[n_o \sin(S_1 + B - S_2)]]} \right\}^2} \quad (8)$$

此式便是单一波长下, 格兰式偏光分束棱镜光强分束比与入射角关系的一般表达式。

## 2 偏光分束棱镜的入射角效应

### 2.1 光强分束比与入射角的关系

取结构角  $S_1 = 39^\circ, S_2 = 22^\circ$  的所谓 90° 偏光分束镜和  $S_1 = 39^\circ, S_2 = 34^\circ$  的所谓 OE 双输出棱镜为例, 在 633nm 的使用波长下, 入射角由  $-3^\circ \sim 3^\circ$  变化时的光强分束比如图 3 所示, 曲线 1、曲线 2 对应结构角  $S_2 =$

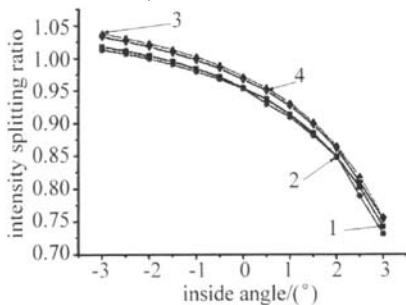


Fig 3 The changeable relation of intensity splitting ratio with the incident angle

22 的分束镜 (曲线 1 为理论值, 曲线 2 为实验值), 曲线 3、曲线 4 对应结构角  $S_2 = 34^\circ$  的分束镜 (曲线 3 为理论值, 曲线 4 为实验值)。由图中曲线可见: 无论  $S_2$

虑 1, 5 界面上的强度反射系数  $R_{o1}, R_{o5}$  即可。同理, 根据菲涅耳公式得:

$$\begin{cases} R_{o1} = \frac{\tan^2(\alpha - \delta)}{\tan^2(\alpha + \delta)} \\ R_{o5} = \frac{\tan^2(\delta_1 - \delta_2)}{\tan^2(\delta_1 + \delta_2)} \end{cases} \quad (5)$$

再由图中几何关系:

$$\begin{cases} \sin\alpha = n_o \sin\delta \\ \delta' = S_1 + \delta \\ \delta' = S_2 + \delta_1 \\ n_o \sin\delta_1 = \sin\delta_2 \end{cases} \quad (6)$$

得到 o 光透射比为:  $I_o = (1 - R_{o1})(1 - R_{o5})$ , 将 (5) 式和 (6) 式相关条件带入可得:

$$I_o = 1 - \frac{\tan^2(\alpha - B)}{\tan^2(\alpha + B)} \times \left\{ 1 - \frac{\tan^2[S_1 + B - S_2 - \sin^{-1}[n_o \sin(S_1 + B - S_2)]]}{\tan^2[S_1 + B - S_2 + \sin^{-1}[n_o \sin(S_1 + B - S_2)]]} \right\} \quad (7)$$

式中, 令  $B = \sin^{-1}(\sin\alpha/n_o)$ 。

由 (4) 式和 (7) 式可得到 o 光, e 光的光强分束比:

角如何, 光强分束比随入射角的变化规律是一致的, 即随入射角的增大, 整体呈减小趋势, 且以负角度入射时光强分束比变化缓慢, 以正角度入射时光强分束比变化较快。光强分束比随结构角  $S_2$  的增大而增大。通常 o 光、e 两光束相等的点一般不在  $0^\circ$  入射情况下, 而是在偏负角入射位置, 当然, 这个位置在设计时也可以适当调整  $S_1, S_2$  大小加以改变。

### 2.2 光强分束比与入射波长的关系

制作偏光分束棱镜的材料是方解石单晶体, 由于其存在较严重的色散现象, 因此, 对于不同波长使用情况, 光强分束比必然会有所不同, 图 4 中反映了这种变

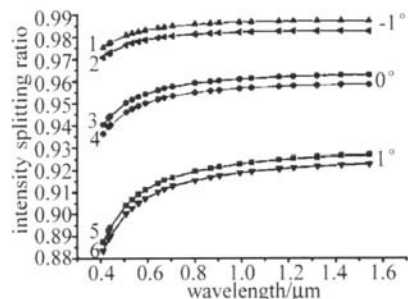


Fig 4 The changeable relation of intensity splitting ratio with the incident wavelength

化情况。方解石晶体在  $0.4\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$  的双折射率取值来自参考文献 [9], 以结构角  $S_1 = 39^\circ$ ,  $S_2 = 22^\circ$  的  $90^\circ$  偏光分束镜为例。图中分别给出了  $-1^\circ, 0^\circ, 1^\circ$  (曲线 1、曲线 3、曲线 5 为对应角度下的理论值, 曲线 2、曲线 4、曲线 6 为实验值) 3 种不同入射角情况下的光强分束比, 其变化规律基本上一致, 均为随着波长的增大, 两束光的光强差别越来越小, 当然这种变化在红外区会变得不是很明显。

### 3 结论

根据理论分析和实验观察, 能够比较清楚地反映出常用格兰式偏光分束棱镜在非正入射情况下, 光强分束比随入射角的增大而减小, 以负角度入射时光强分束比更接近于 1, 且以负角度入射时有光强分束比大于 1 的情况 (即出射的 e 光光强大于 o 光光强), 而以正角度入射时光强分束比始终小于 1。这给用户使用带来了方便, 适当改变入射角, 完全可以调整两束光的强度相等。当然, 也可以根据用户的要求, 在设计时通过调整结构角达到相同目的。另外, 研究表明, 入射角度一定时, 光强分束比随入射波长增加而增加, 且在短波范围内变化较快。建议科技工作者在实验过程中根据不同波长, 通过适当的入射角调整来达到光强一

致要求, 正入射并不一定是明智之举。

### 参考文献

- [1] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P, *et al* Tertiary parallel beam splitter combined of Iceland and glass [J]. Laser Technology, 2006, 30 (3): 311-312 (in Chinese).
- [2] B I J, WU F Q, ZHENG M M. Effect of incident angles on transmissivity of Glan-Taylor prism and maple-hess prism [J]. Laser Technology, 2006, 30 (5): 529-531 (in Chinese).
- [3] 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).
- [4] KONG F Zh, SONG L K. Analysis of the effects of incident angle on light transmission of polarizing prism [J]. Laser Technology, 2006, 32 (1): 126-128 (in Chinese).
- [5] WANG W, WU F Q, SU F F. Researches of splitting angle and splitting intensity ratio of OE double escape prism [J]. Laser Technology, 2003, 27 (6): 560-562 (in Chinese).
- [6] ZHU H F, SONG L K, PENG H D, *et al* Distribution transmitted light of Glan-Taylor prism [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34 (12): 1881-1883.
- [7] WU F Q, HUANG J Y, FENG T Zh, *et al* Reach on beam splitting intensity ratio of polarization beam split prism [J]. Laser Technology, 1994, 18 (5): 310-312 (in Chinese).
- [8] BORN M, WOLFE R. Principles of optics (volume one) [M]. Beijing: Science Press, 1978: 64-65 (in Chinese).
- [9] LI J Zh. Handbook of optics [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1986: 1300 (in Chinese).

(上接第 211 页)

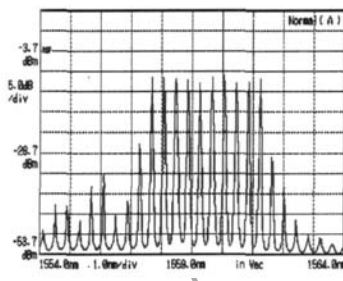


Fig 4 Laser output spectrum when semiconductor waveguide modulated at 20kHz

制频率为 20kHz 时, 功率谱较平坦, 且起伏小于 3dB。

### 3 结论

提出了一种基于偏振烧孔和正弦相位调制的多波长掺铒光纤激光器。它利用半导体光波导偏振敏感的性质使 EDFA 中产生偏振烧孔效应, 同时利用其在正弦调制下产生的频移反馈, 使光信号的功率转移到相邻的频率上, 以引起更多波长的同时激射。在室温下实现了波长间隔为  $0.32\text{nm}$  的稳定 10 波长激光输出。

### 参考文献

- [1] HUBNER J, VARMING P, KRISTENSEN M. Five wavelength DFB fiber laser source for WDM systems [J]. Electron Lett, 1997, 33 (2): 139-140.

- [2] L M D S, LEE H K, KM K H, *et al* Generation of multiorder Stokes and anti-Stokes lines in a Brillouin erbium-fiber laser with a Sagnac mirror [J]. Opt Lett, 1998, 23 (21): 1671-1673.
- [3] SUN G Y, QU R H, FANG Z J, *et al* Study on multiwavelength erbium-doped fiber laser with sinusoidal phase modulation [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31 (11): 1293-1295 (in Chinese).
- [4] LU F Y, DONG F J, XIE Ch X, *et al* Room temperature multiwavelength erbium-doped fiber laser [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15 (6): 654-656 (in Chinese).
- [5] CUI Y Ch, ZHANG Sh L, FENG J Y. The gain and polarization characteristics of semiconductor optical amplifiers [J]. Laser Technology, 2005, 29 (5): 462-465 (in Chinese).
- [6] W Y SOCKI P, MAZURCZYK V. Polarization dependent gain in erbium-doped fiber amplifiers: computer model and approximate formulas [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1996, 14 (4): 572-584.
- [7] YAO J, YAO J P, DENG Zh Ch, *et al* Investigation of room-temperature multiwavelength fiber-ring laser that incorporates an SOA-based phase modulator in the laser cavity [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2005, 23 (8): 2484-2490.
- [8] ZHOU K J, ZHOU D Y, DONG F Zh, *et al* Room temperature multiwavelength erbium-doped fiber ring laser employing sinusoidal phase modulation feedback [J]. Opt Lett, 2003, 28 (11): 893-895.
- [9] ZHOU K J, YE W, YANG J L, *et al* Comb filter based on an all-polarization maintaining fiber loop and its applications [J]. Proc SPIE, 2002, 4833: 988-994.