

文章编号: 1001-3806(2006)02-0215-03

## 格兰 泰勒棱镜和格兰 付科棱镜透射比的比较研究

唐恒敬, 吴福全\*, 邓红艳

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了验证空气隙的厚度是否对偏光棱镜的透射比产生影响, 对格兰 泰勒棱镜和格兰 付科棱镜的透射比进行了详细的理论分析, 并利用 UV-3101 分光光度计分别对两只格兰 泰勒棱镜和两只格兰 付科棱镜的透射比进行了实验测试, 发现格兰 泰勒棱镜的透射比 (85% 左右) 明显高于格兰 付科棱镜 (50% 左右)。理论分析表明, 对于严格的准直光束, 两种棱镜的透射比均随波长的变化而振荡, 且这种振荡对格兰 付科棱镜强于格兰 泰勒棱镜; 但在分光光度计上的测试并未出现振荡, 这说明对于非严格准直的光束, 空气隙的厚度并不影响棱镜的透射比。

**关键词:** 物理光学; 偏振光; 格兰棱镜; 透射比; 干涉

**中图分类号:** O436.3 **文献标识码:** A

### Transmittance comparison of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism

TANG Heng-jing, WU Fu-quan, DENG Hong-yan

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

**Abstract:** In order to verify whether the thickness of air-gap would influence the prism's transmittance, the transmittance of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism is theoretically studied. The transmittance of two-Glan-Taylor prisms and two-Glan-Foucault prisms is tested with a UV-3101 spectral photometer, and the results are found the transmittance of Glan-Taylor prism (about 85%) is obviously higher than that of Glan-Foucault prism (about 50%). For strictly collimating light, the transmittance of these two types of prism varies with the wavelength change, and this vibration is stronger for Glan-Foucault prism than for Glan-Taylor prism. However, the experimental result tested by spectral photometer doesn't have vibration, which shows that for non-strictly collimating light, the thickness of air-gap doesn't influence the prism's transmittance.

**Key words:** physical optics; polarized light; Glan prism; transmittance; interference

## 引 言

透射比是衡量光学器件的一个重要参数<sup>[1~4]</sup>, 它描述的是光学器件的透光效率。偏光器件的透射比是指实际通过偏光器件后的光强  $I_t$  与偏光器件允许通过的那一部分平面偏振光的光强  $I_0$  之比, 通常用百分比表示, 即:  $T_t = \frac{I_t}{I_0} \times 100\%$ 。格兰型是应用最为广泛的偏光棱镜<sup>[5]</sup>, 主要有 4 种设计形式: 格兰 汤普逊棱镜和与之对应的空气隙型——格兰 付科棱镜; 李普奇棱镜和与之对应的空气隙——格兰 泰勒棱镜。就棱镜透射比而言, 格兰 汤普逊棱镜和李普奇棱镜几乎相同, 但它们的空气隙型格兰 付科棱镜的透射比却比格兰 泰勒棱镜低得多。它们的外型相同, 晶体的光轴都

在入射端面内只是晶体光轴相差了  $90^\circ$ 。正是由于晶体光轴的这一变化引起了二者透射比的较大差异, 本文中这两种空气隙棱镜的透射比进行了详细的分析和比较研究, 为相关科技工作的应用提供必要的理论和实验依据。

## 1 理论分析

为了方便起见, 首先设: (1) 入射光为单色线偏振光; (2) 光正入射于棱镜; (3) 研究限定在冰洲石晶体无吸收的光谱范围。

格兰 泰勒棱镜的光路如图 1 所示,  $S$  为棱镜的结构角, 由图可知, 出射的  $e_{11}$  光要经过 4 个界面, 其在

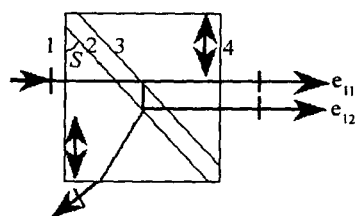


Fig 1 The optical path of Glan-Taylor prism

作者简介: 唐恒敬 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事偏光技术及光谱分析方面的研究工作。

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

收稿日期: 2005-02-21; 收到修改稿日期: 2005-03-14

2, 3, 4 界面上的反射比分别用  $R_{p_1}, R_{p_2}, R_{p_3}, R_{p_4}$  表示<sup>[6]</sup>, 则:

$$R_{p_1} = R_{p_4} = \frac{(n_e - 1)^2}{(n_e + 1)^2} \quad (1)$$

$$R_{p_2} = R_{p_3} = \frac{\tan^2(\alpha - S)}{\tan^2(\alpha + S)} \quad (2)$$

式中,  $n_e$  为晶体中 e 光波的主折射率,  $\alpha$  为 e 光波在界面 2 上的折射角, 满足:  $\sin\alpha = n_e \sin S$ 。那么格兰泰勒棱镜的透射比:  $T_T' = (1 - R_{p_1})^2 (1 - R_{p_2})^2$  (3) 上式只是考虑了 e 光直接透射的情况, 实际上 e 光到达空气隙之后, 在界面 2, 3 之间要发生多次反射和折射, 必然导致透射光束不只两束; 因此, 在计算透射光强时, 还应该考虑在界面 2, 3 之间多次反射又透射的那部分光。如果只考虑经界面 2 一次反射又透射的光 (如图 2 所示), 这样一来, 格兰泰勒棱镜的透射比应

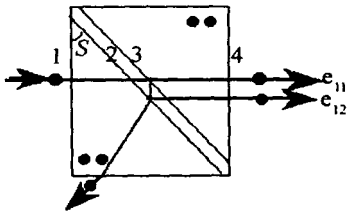


Fig 2 The optical path of Glan-Foucault prism

该修正为:

$$T_T'' = (1 - R_{p_1})^2 (1 - R_{p_2})^2 (1 + R_{p_2}^2) \quad (4)$$

如考虑光在空气隙内多次反射光的干涉作用<sup>[7,8]</sup>, 此时格兰泰勒棱镜的透射比为:

$$T_T''' = \left[ \frac{4n_e}{(1 + n_e)^2} \right]^2 \frac{1}{1 + \frac{4R_{p_2} \sin^2(\delta/2)}{(1 - R_{p_2})^2}} \quad (5)$$

式中,  $\delta = 4\pi h \cos\alpha / \lambda$ ,  $h$  为空气隙的厚度,  $\lambda$  为入射光的波长。

格兰付科棱镜的光路图如图 2 所示,  $S$  为棱镜的结构角, 出射  $e_{11}$  光在 1, 2, 3, 4 界面上的反射比分别用  $R_{s_1}, R_{s_2}, R_{s_3}, R_{s_4}$  表示, 则:

$$R_{s_1} = R_{s_4} = \frac{(n_e - 1)^2}{(n_e + 1)^2} \quad (6)$$

$$R_{s_2} = R_{s_3} = \frac{\sin^2(\alpha - S)}{\sin^2(\alpha + S)} \quad (7)$$

所以, 得到格兰付科棱镜的透射比为:

$$T_F' = (1 - R_{s_1})^2 (1 - R_{s_2})^2 \quad (8)$$

与格兰泰勒棱镜的分析方法相同, 可以得到不同情况下格兰付科棱镜的透射比分别为:

$$T_F'' = (1 - R_{s_1})^2 (1 - R_{s_2})^2 (1 + R_{s_2}^2) \quad (9)$$

考虑光束的干涉作用后棱镜的透射比为:

$$T_F''' = \left[ \frac{4n_e}{(1 + n_e)^2} \right]^2 \frac{1}{1 + \frac{4R_{s_2} \sin^2(\delta/2)}{(1 - R_{s_2})^2}} \quad (10)$$

## 2 比较和讨论

在不考虑干涉作用的情况下格兰泰勒棱镜和格兰付科棱镜的透射比分别由 (3) 式、(4) 式和 (8) 式、(9) 式给出, 此时, 棱镜透射比只和结构角  $S$  和入射光波长  $\lambda$  有关, 而与空气隙的厚度  $h$  无关。取  $S = 38.83^\circ$ , 做出  $T_T', T_T'', T_F', T_F''$  与波长  $\lambda$  的关系曲线如图 3 所示。由图中曲线可知: (1) 格兰泰勒棱镜的透

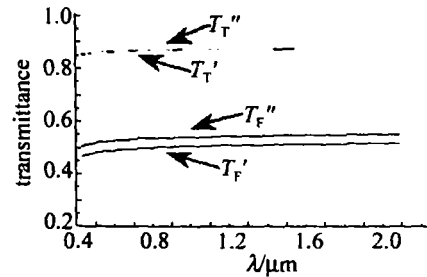


Fig 3 The theoretic transmittance graph of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism (not considering interference)

射比明显优于格兰付科棱镜; (2) 在考虑了在胶合层多次反射后又透射的那部分光后, 格兰泰勒棱镜的透射比几乎没有增加, 而格兰付科棱镜的透射比增加了 3.5%; (3) 格兰泰勒棱镜和格兰付科棱镜的透射比均随波长  $\lambda$  的增加而增大。在可见光区透射比增长较快, 在近红外区, 透射比增长较为缓慢。

在考虑干涉后, 格兰泰勒棱镜和格兰付科棱镜的透射比分别由 (3) 式和 (6) 式给出。此时, 透射比不仅和结构角  $S$  和入射光波长  $\lambda$  有关, 而且还与空气隙厚度  $h$  有关。取  $S = 38.83^\circ, h = 47\mu\text{m}$ , 分别由 (5) 式和 (10) 式给出。  $T_T'''$  和  $T_F'''$  与入射光波长  $\lambda$  的关系曲线如图 4 所示。由图中曲线可知, 在考虑干涉的情况下, 格兰泰勒棱镜和格兰付科棱镜透射比均随波长  $\lambda$  的变化而产生振荡, 且格兰付科棱镜透射比的振荡幅

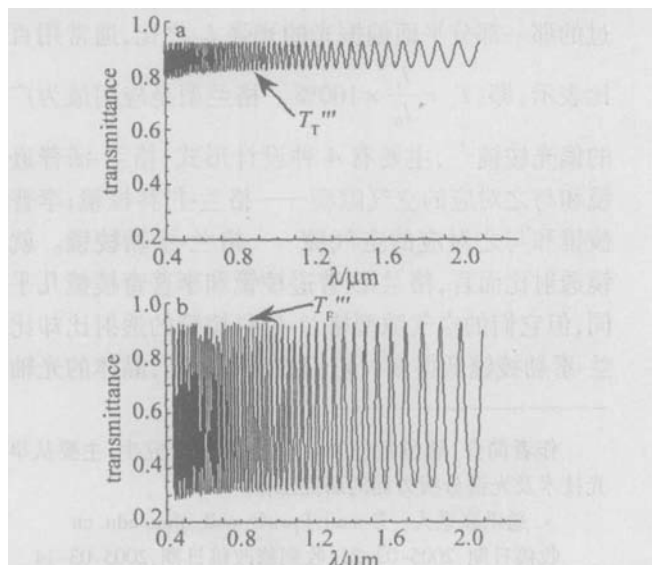


Fig 4 The theoretic transmittance graph of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism (considering interference)

度明显大于格兰 泰勒棱镜。

一般情况下,人们在研究偏光棱镜的透射比时,只考虑直接透射的光,或至多把直接透射的光与在胶合层多次反射后又透射的那部分光相叠加,而忽略了直接透射的光与在胶合层多次反射后又透射的那部分光

之间的干涉作用。这样做是不是合理的呢?对此,作者从实验上进行了验证,利用 UV-3101 分光光度计测试了两只格兰 泰勒棱镜和两只格兰 付科棱镜的透射比,这 4 只棱镜的结构角  $s$  均为  $38.83^\circ$ ,空气隙的厚度  $h = 47\mu\text{m}$ 。透射比曲线如图 5 所示。

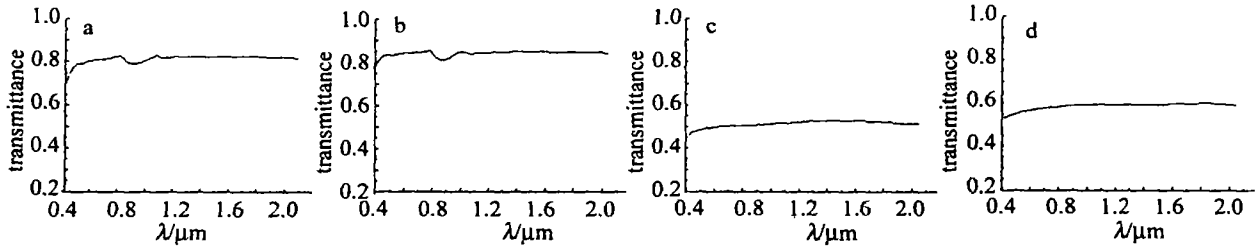


Fig 5 The measured transmittance graph

a, b—Glan-Taylor prism c, d—Glan-Foucault prism

将图 5 中的测试曲线分别与图 3 和图 4 中的理论曲线作比较,可以发现:(1)测试曲线和图 3 中的理论曲线符合得较好,特别是在可见波段,格兰 付科棱镜透射比的理论曲线和测试曲线基本吻合;(2)测试曲线并没有出现图 4 中所预测的线形,这说明干涉并没有对棱镜的透射比产生影响;(3)虽然测试曲线和图 3 中的理论曲线符合得较好,但透射比的数值略有差别。这是因为在测试当中,很难保证光严格的正入射到棱镜上,而透射比对入射角又非常的敏感,所以,造成理论和实验上透射比数值小的差别。

### 3 结 论

(1)格兰 泰勒棱镜的透射比明显优于格兰 付科棱镜的透射比,可以达到 85% 以上,而格兰 付科棱镜的透射比仅在 50% 左右,这是因为格兰 泰勒棱镜在界面 2,3 上的反射损失不到 4%,而格兰 付科棱镜在界面 2,3 上的反射损失达到了 27%。

(2)在正入射情况下,格兰 泰勒棱镜和格兰 付科棱镜的透射比仅与结构角  $s$  和入射光波长  $\lambda$  有关,而与空气隙厚度  $h$  无关。干涉作用并没有对格兰 泰勒棱镜和格兰 付科棱镜的透射比产生影响。作者认为可能有两个原因:一是入射光束并不是严格的准直光束;二是棱镜的空气隙不是严格均匀等厚的<sup>[9]</sup>。这两

个原因可能引起了透射光强空间分布的变化,而总的透射光强未变,所以,干涉作用并没有对棱镜的透射比产生影响。

### 参 考 文 献

- [1] KONG Y, LI G H, YUN M J *et al* A research on multiple tunable liquid crystals filters [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2001, 12 (5): 474 ~ 476 (in Chinese).
- [2] LI G H, PANG Y T, DAI Z X *et al* Study of tunable liquid crystal filters [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2001, 12 (2): 141 ~ 143 (in Chinese).
- [3] PANG Y T, LI G H, LIANG Zh X *et al* Analysis to character of tunable lyot filter [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2002, 11 (2): 167 ~ 169 (in Chinese).
- [4] HUANG J Y, LI X L, WU F Q. The ultraviolet polarizing prism with excellent transmittance [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 1996, 7 (5): 314 ~ 316 (in Chinese).
- [5] LI J Zh Handbook of optics [M]. Xi'an: Press of Shanxi Science Technology, 1986. 506 ~ 517 (in Chinese).
- [6] WU F Q, LI G H, FENG T Zh *et al* Researches in beam splitting intensity ratio of OE double escape prism [J]. Journal of Qufu Normal University, 1994, 20 (2): 50 ~ 53 (in Chinese).
- [7] GAO H G, PEIQ K. The design of Glan-Taylor prism [J]. Laser Technology, 1994, 18 (3): 185 ~ 189 (in Chinese).
- [8] ZHU H F. Effect of laser polarizer on output light intensity [D]. Qufu: Qufu Normal University, 2003. 13 ~ 28 (in Chinese).
- [9] ZHAO M Sh, LI G H, YU D H *et al* Study on the interference of air-spaced polarization prism [J]. Journal of Qufu Normal University, 1992, 18 (2): 49 ~ 52 (in Chinese).