

格兰-泰勒棱镜透射光强分布研究

朱化凤¹ 宋连科¹ 彭捍东¹ 郑春红²

(1 曲阜师范大学激光研究所, 山东曲阜 273165)

(2 青岛建筑工程学院数理系, 山东青岛 266033)

摘要 从棱镜的结构特点出发, 结合菲涅耳定律和等厚干涉原理, 导出了格兰-泰勒棱镜透射光强分布的有关公式, 分析了在平面光波和会聚光束入射时, 光强分布特征, 并进行了实验测试, 测试结果与理论结果相一致. 理论和实验结果表明: 平面光波入射时, 产生等间距和等相衬度的条纹; 发散光束入射时一般产生不平行的、宽度和相衬度连续变化的条纹.

关键词 偏光棱镜; 能量反射比; 光强分布; 条纹

中图分类号 O436.3 **文献标识码** A

0 引言

偏光器件有多种类型, 空气隙 Glan 型设计类型, 以其抗光损伤能力强的特点在激光偏光技术中得到了广泛应用, 特别是光强透射比较大的格兰-泰勒棱镜. 由于棱镜胶合层两切割面的光洁度高, 光在切割面的反射不可忽略. 在假定为平行介质膜条件下, 已经对空气隙的光强透射比的影响进行了较为深入地探讨^[1]. 但棱镜在胶合过程中很难保证两切割面之间完全平行, 从而在两切割面之间形成一个楔形空气膜, 当平行光束入射时就会形成等厚干涉, 从而使得光强重新分布.

格兰-泰勒棱镜对光强分布的影响, 已有人对其进行了实验研究^[2], 也仅仅是进行了一些定性的分析. 对条纹相对于棱镜的方向, 任意空间角度入射时透射光强度分布的探讨却未见报道, 本文对此进行了分析探讨, 推导出光强分布公式、条纹相衬度和条纹宽度公式, 并进行了实验验证, 测试结果与理论分析相一致.

1 棱镜结构误差对光强分布的影响

格兰-泰勒棱镜是由同一块晶体材料切割、抛光、并胶合到一起而成, 若在加工或胶合过程中出现的偏差如图 1, mm' 代表两切割斜面间空气膜楔棱的方向, 垂直于楔棱的平面 $abb'a'$ 与棱镜的主截面之间的夹角为 ω , 楔角为 φ . 若光束在方位角为 φ' 的人射面内, 以小于视场角的角度 i_0 入射到棱镜端面时, 在切割面上的人射角为 i , 折射角为 θ , 它们分别满足关系式^[1] (只讨论出射的 e 光)

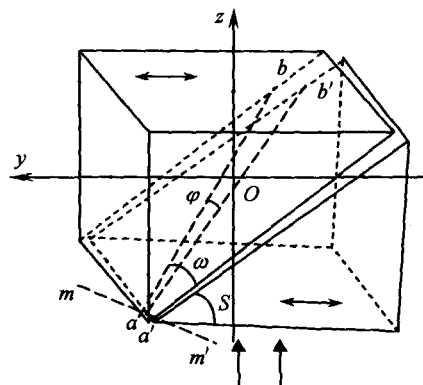


图 1 格兰-泰勒棱镜胶合工艺偏差, 双箭头代表晶体光轴的方向

Fig. 1 Cementing technological error of Glant-Taylor prism. Double arrow represents the direction of optical axis

$$\cos i = \frac{1}{n_e} (\cos S \sqrt{n_e^2 - \sin^2 i_0} + \sin S \sin i_0 \cos \varphi') \quad (1)$$

$$\cos \theta =$$

$$\sqrt{1 - n_e^2 + (\cos S \sqrt{n_e^2 - \sin^2 i_0} + \sin S \sin i_0 \cos \varphi')^2} \quad (2)$$

式中 S 为棱镜的结构角, 光束在视场角范围以空间任意角度入射时, e 光的折射率取近似值 n_e , 空气膜界面的能量反射比为

$$R = \left[\frac{n_e \cos \theta - \cos i}{n_e \cos \theta + \cos i} \right]^2 \quad (3)$$

其透射光强分布由下式决定^[3]

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos k\Delta \quad (4)$$

其中 I_1 为直接透射的光强, I_2 为经过空气膜上下表面反射后又从下表面出射的光强, 因 $I_2 = I_1 R^2$ 则式(4)可表示为

$$I = I_1 (1 + R^2) [1 + v \cos(k\Delta)] \quad (5)$$

其中 v 为条纹相衬度

$$v = \frac{2R}{1 + R^2} \quad (6)$$

从式(5)可以看出, I_1 一旦确定以后, I 仅由光程差

$\Delta = 2h \cos \theta^{[4]}$ 决定。

在空间入射角一定的情况下, Δ 只由 h 来决定, 平行于楔棱处空气隙的厚度相同, 干涉条件相同, 所以干涉条纹为一系列平行于楔棱的直条纹, 既与主截面夹角为 $(90^\circ - \omega)$ 的明暗相间的直条纹. 条纹间距 l 可表示为

$$l = \frac{\lambda}{2\varphi \cos \theta} =$$

$$\frac{\lambda}{2\varphi \sqrt{1 - n_e^2 - (\cos S \sqrt{n_e^2 - \sin^2 i_0} + \sin S \sin i_0 \cos \varphi')^2}} \quad (7)$$

由式(1)、(2)、(3)、(6) 做出条纹相衬度随方位角和入射角(主截面内)的变化如图2和图3. 当 $\varphi = 0.3 \text{ mrad}$ 时, 由式(7)可得条纹宽度分别随方位角和入射角(主截面内)的变化如图4和5.

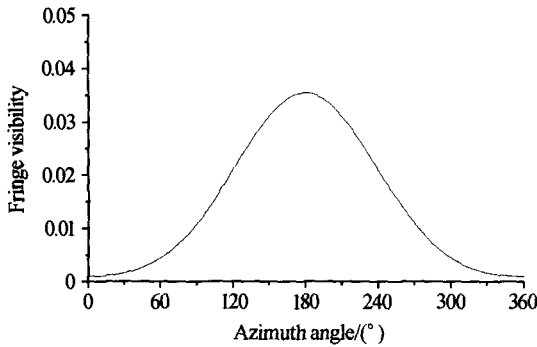


图2 入射角大小为 1° 时, 条纹相衬度随方位角的变化关系
Fig. 2 Fringe visibility vs. azimuth angle $i_0 = 1^\circ$



图3 方位角为零度时, 条纹相衬度随入射角的变化关系
Fig. 3 Fringe visibility vs. incident angle $\varphi' = 0^\circ$

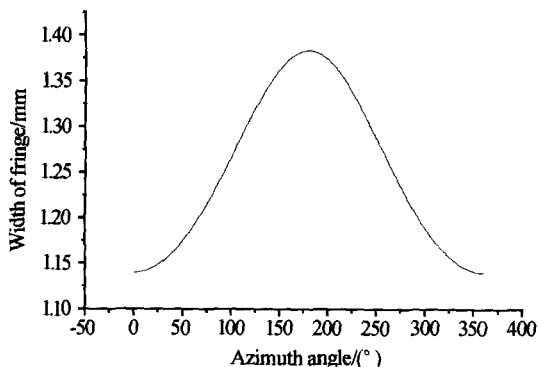


图4 入射角大小为 1° 时, 条纹宽度随方位角的变化关系
Fig. 4 Width of fringe vs. azimuth angle $i_0 = 1^\circ$

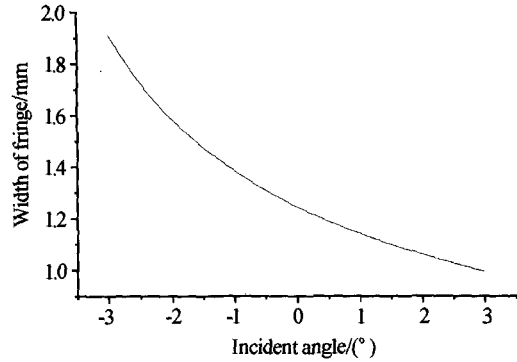


图5 方位角为零时, 条纹宽度随入射角的变化关系
Fig. 5 Width of fringe vs. incident angle $\varphi' = 0^\circ$

由图2、3、4和5可以看出, 当光束以空间不同的角度入射时, 条纹的相衬度和条纹宽度一般不会相同, 对于 $yo z$ 平面对称入射的光线具有相同的条纹相衬度和相同的条纹宽度. 由此可以得到: 1) 当平面光波以一定的空间角度入射时, 干涉条纹为平行于楔棱的直条纹, ω 不同的取值对应条纹的走向不同. 2) 当发散光束入射时, 入射光束中每条光线的条纹相衬度和条纹宽度同样由式(6)和(7)表示. 透射光束横截面上的条纹宽度和相衬度沿 y 轴正方向逐渐变大, 既条纹逐渐变得清晰. 当 $\omega = 0^\circ$ 时, 条纹宽度和相衬度变化的方向与楔形空气膜厚度变化的方向相一致, 所以出射光强度分布为平行的、宽度和相衬度沿 y 轴逐渐变化的直条纹; 当 $\omega \neq 0^\circ$ 时, 就出现楔形空气膜厚度变化的方向与条纹宽度和条纹相衬度变化趋势的方向不一致, 这样条纹就会发生弯曲.

2 实例测试及分析

为了验证以上结论, 建立了如图6的实验系统. He-Ne 激光束依次通过光束变换系统、光阑、待测棱镜, 由 CCD 接收, 经数据采集和处理系统得到实验结果.

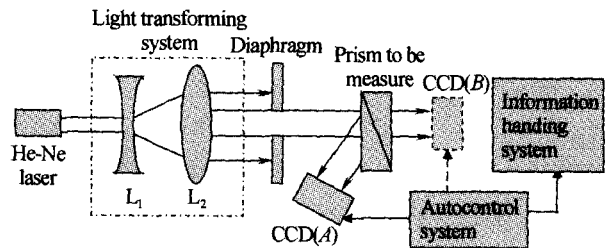


图6 光强分布实验测试系统
Fig. 6 Light distribution measuring system

实验中, 透射光束横截面的条纹相衬度小, 使得观察其条纹分布相对困难, 解决办法是通过反射光来观察条纹的变化. 由于反射光和透射光的条纹形状一致, 只是强弱互补, 且反射光束相干光强度接近, 条纹相衬度要大的多. 根据偏光棱镜的设计原

理,切割斜面上全反射的 o 光和部分反射的 e 光分离一定的角度,可以直接探测 e 反射光. 调整光束变换系统,使入射待测棱镜的光为平行光束,在如图 7 的主截面 ($\varphi' = 0^\circ$) 内分别以 $i_0 = 3^\circ$ 和 $i_0 = -3^\circ$ 入射待测棱镜,反射光强分布如图 8(a) 和 (b). 由图 8 可以看到, $i_0 = -3^\circ$ 时比 $i_0 = 3^\circ$ 时条纹更宽,而且条纹相衬度更大.

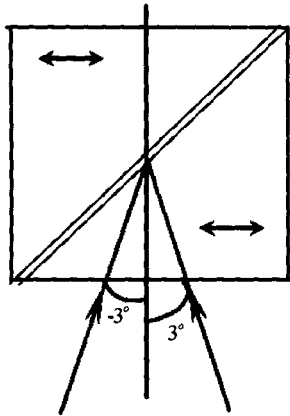


图 7 测试光入射方位
Fig. 7 Azimuth of measuring light

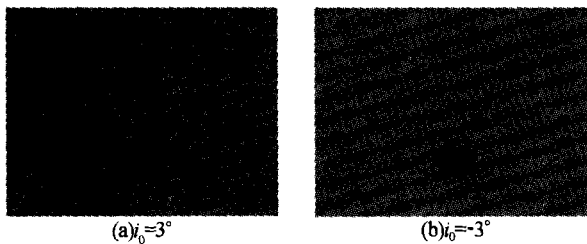


图 8 平行光在 Glan-Taylor 棱镜主截面内入射时, e 反射光的干涉条纹

Fig. 8 Interference fringe of e reflected light with incident light in principal section

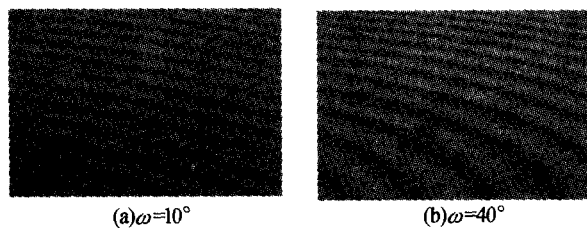


图 9 发散光束入射时, e 反射光束的光强分布
Fig. 9 Light distribution of e reflected light with the incidence of divergent light beam. Angle of $6^\circ, \varphi = 0.5\text{mrad}$

调整光束变换系统,使发散光束入射,中心光束垂直于棱镜入射端面. 在 φ 分别为 10° 和 40° 时,测得 e 反射光强分布图为如图 9(a) 和 (b) 弯曲的干涉图样. 由图 9 可以看到, ω 取值越靠近 45° , 条纹的弯曲程度越大.

不同的实验条件下所得的结果与前面的理论分析相一致.

3 结论

由于工艺误差的存在,入射在棱镜上的均匀光斑,出射光强度分布不再均匀. 平面光波入射时,将产生平行于楔棱的直条纹;会聚光束入射时,根据工艺误差的不同,光强分布有所不同,一般产生不平行的宽度连续变化的条纹. 这给生产和科研带来极为不利的影 响. 本文所探讨的内容为棱镜改进和应用提供了理论依据. 在棱镜胶合的过程中,可以通过观察出射光斑的干涉条纹方向和宽度大小来判断工艺误差的大小,从而进行有目的地调整;根据条纹方向判断误差的方位;根据条纹宽度判断两切割面的平行情况. 条纹越宽,则两切割面的平行度越好.

参考文献

- 1 朱化凤,宋连科,郑春红,等. 晶体偏光棱镜光强透射比研究. 光子学报,2004,33(2):204~207
Zhu H F, Song L K, Zheng C H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004,33(2):204~207
- 2 赵明山,李国华,于德宏,等. 空气隙型偏光棱镜干涉研究. 曲阜大学学报,1992,18(2):49~52
Zhao M S, Li G H, Yu D H, et al. *Journal of Qufu Normal University*, 1992,18(2):49~52
- 3 刘坤英,范汝盐. 光学. 北京:中国科学技术出版社,1994. 205
Liu Kunying, Fan Ruyan. *Optics*. Beijing: Science and Technology Publishing House of China, 1994. 205
- 4 廖延彪. 物理光学. 北京:电子工业出版社,1986. 64
Liao Yanbiao. *Physical Optics*. Beijing: Electronic Industrial Publishing House, 1986. 64
- 5 朱化凤,宋连科,李国华,等. 偏光棱镜性能参量求解新法. 光子学报,2004,33(11):1370~1372
Zhu H F, Song L K, Li G H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004,33(11):1370~1372

Distribution of Transmitted Light of a Glan-Taylor Prism

Zhu Huafeng¹, Song Lianke¹, Peng Handong¹, Zheng Chunhong²

¹ Laser Research Institute, Qufu Normal University, Qufu, Shandong 273165

² Qingdao Institute of Architecture & Engineering, Qingdao, Shandong 266033

Received date: 2004-09-27

Abstract Based on design feature of Glan-Taylor prism, and by using Snell's law and equal thickness interference, the distribution of transmitted light of an air-spaced polarizing prism with the incidence of collimated light beam and convergent wave were studied as a function of azimuth and incident angle. Experiments accordingly were conducted, and both theoretical and experimental results indicated that equal visibility and width of fringe were got with the incidence of collimated light; unequal visibility and width of fringe were got with the incidence of convergent light beam.

Keywords Polarizing prisms; Reflectance; Light intensity distribution; Fringe



Zhu Huafeng was born in November, 1977. She got her B. S. degree at physics department of Liaocheng Normal University in 2000 and her M. S. degree at Laser Research Institute of Qufu Normal University in 2003, where her major research areas included the design and the parameter testing of laser polarizing prisms. Now she is pursuing her Dr. degree in Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences.