

文章编号: 0253-2239(2008)03-0534-05

# 格兰-汤普森棱镜透射光强扰动的温度效应

贾 朋 李国华 彭捍东

(曲阜师范大学激光研究所, 山东 曲阜 273165)

**摘要** 线偏振光正入射的情况下, 格兰-汤普森棱镜的透射光强随入射光方位角的变化出现周期性增强的扰动, 影响了透射偏振光的质量。为了尽可能的减小扰动带来的不利影响, 以保证棱镜使用过程中透射偏振光的质量, 通过对不同温度下扰动因子的变化分析得到了: 透射光强对入射角敏感的依赖关系。实验中, 格兰-汤普森棱镜的振动引起入射角在棱镜的结构角大小附近作微小变化, 从而导致了透射光强的扰动, 选取合适的结构角可以减小扰动。对于特定波长的入射光而言, 应在允许范围内尽量减小胶合层厚度; 当温度在一定范围内变化时, 选取结构角为平均值温度所对应的极大值点也可以减小扰动所造成的影响。

**关键词** 光学器件; 偏光棱镜; 热光效应; 干涉; 扰动

**中图分类号** O436.3 **文献标识码** A

## Thermodynamic Effect on Transmitted Intensity Perturbance of Glan-Thompson Prism

Jia Peng Li Guohua Peng Handong

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

**Abstract** An analytical study on transmitted intensity perturbance of Glan-Thompson prism with varying rotation angle is given, when the linearly polarized light enters in the normal incidence. The perturbance strongly affects the quality of transmitted polarizing light. In order to reduce this bad effect and hold the quality of transmitted polarized light, we reaserched the perturbance factor. Study shows that the transmitted intensity sensitively relies on the incident angle. In the experiment, a minute random variation of the incident angle around the structure angle of Glan-Thompson prism is found, which gives rise to the perturbance. Selecting the right angle could reduce the perturbance. For the same purpose, we should reduce the thickness of the glue in certain wavelength to the full and select the hump at the average temperature when the temperature varied.

**Key words** optical devices; polarizing prism; thermo-optical effect; interference; perturbance

### 1 引 言

偏光棱镜是光信息处理、激光调制和测量中非常重要的无源器件<sup>[1~3]</sup>。格兰-汤普森(Glan-Thompson)棱镜是当前偏光技术中普遍采用的高精度激光偏光镜之一<sup>[4~8]</sup>, 用冰洲石晶体设计而成。光学性能稳定, 光谱透射范围广, 双折射率大, 且棱镜采用特殊胶合剂胶合, 透射比高, 消光比优于 $10^{-5}$ 。它的使用波段与晶体材料和胶合剂的光学性

质有关, 对于冰洲石晶体材料和加拿大树胶而言, 常规的使用波段为 350~2500 nm。线偏振光正入射的情况下, 格兰-汤普森棱镜的透射光强应为方位角的光滑余弦函数。然而, 在实验中发现, 它的透射光强曲线出现了随入射线偏光方位角的变化周期性增强的扰动。这种幅度较大的扰动的出现, 使得透射光强不再缓慢变化, 对实际工作是不利的。

从理论上分析了扰动产生的原因, 给出了在特

收稿日期: 2007-08-28; 收到修改稿日期: 2007-09-18

作者简介: 贾 朋(1982-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事偏光器件的设计和研发工作。

E-mail: jiapeng11@163.com

导师简介: 李国华(1936-), 男, 山东乳山人, 教授, 博士生导师, 主要从事偏光器件的设计与研发工作。

E-mail: ghli@163169.net

定的入射光波长和空气隙厚度下减小扰动的方法。然而有些实验条件要求温度在一定范围内变化,强激光进入棱镜也会引起棱镜温度的改变。讨论了透射光强扰动的温度效应,并分析了减小这种情况下扰动所带来不利影响的方法。

## 2 实 验

实验装置如图 1 所示。波长为 650nm 的半导体激光器产生的单色光进入起偏镜,产生的线偏振光正入射待测格兰-汤普森棱镜。棱镜放置在支架上,由步进电机带动使棱镜绕光线轴连续旋转,两棱镜的晶体光轴夹角连续变化。透射光强由光电探测器测得后输入计算机,由偏振光强测试系统软件处

理,直接显示出透射光强曲线图。偏振光强测试系统发出信号控制电机转动。激光通过起偏镜后,成为强度为  $I_0$  的线偏振光;然后通过待测的棱镜时,透射光强按照马吕斯定律变化:

$$I = I_0 \cos^2 \phi, \quad (1)$$

式中  $\phi$  是待测棱镜透射光电矢量的振动方向与入射的线偏振光的振动方向之夹角,即为方位角。透射光强应为一光滑的余弦曲线。实验中发现曲线大体上是按上述规律变化的,但存在一定的不规则扰动。图 2 中给出了样品棱镜在旋转一周过程中的透射光强实验曲线。

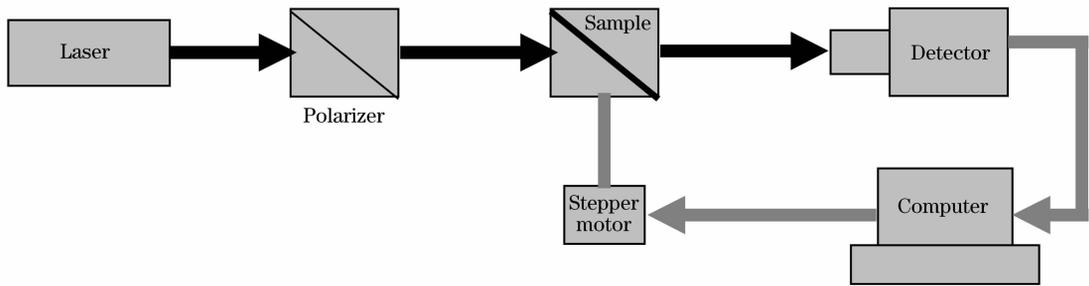


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experiment; setup

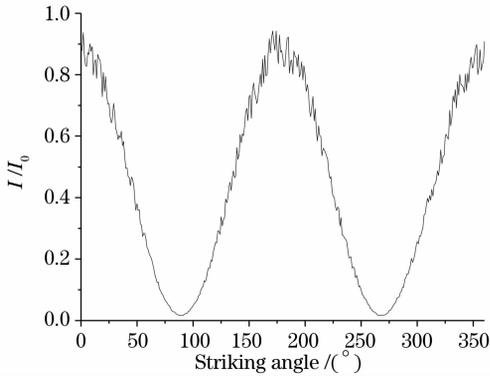


图 2 格兰-汤普森棱镜的实验透射曲线

Fig. 2 Transmittance curve of the Glan-Thompson prism

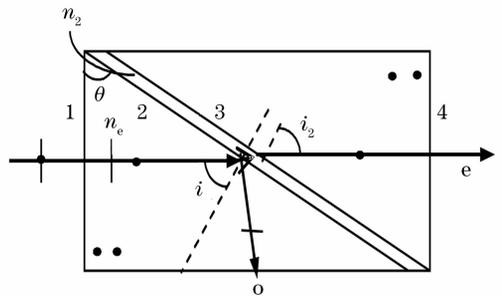


图 3 垂直入射格兰-汤普森棱镜光路

Fig. 3 Beam path in Glan-Thompson prism in the case of normal incidence

## 3 理论分析

### 3.1 扰动产生原因

格兰-汤普森棱镜中光路如图 3 所示。图中 1、4 指棱镜的入、出射端面;2、3 为胶合介面, $\theta$  为棱镜的结构角, $n_1, n_2$  分别是入射介质和光学胶的折射

率,晶体光轴垂直于纸面。单色自然光正入射棱镜的界面 1 时,通过的光只有非常光。因而在作图时也只考虑非常光 e 光,不考虑寻常光 o 光。非常光 e 光在通过空气隙时将发生多次反射,其中经两次反射后的出射光束与直接透射光束相遇形成干涉。考虑到 1、4 界面以及胶合层处的反射比,干涉后的透射光强为

$$I = I_0 \cos^2 \phi \times \left[ 1 - \left( \frac{n_e - 1}{n_e + 1} \right)^2 \right]^2 \times \left[ 1 - \frac{(B/A - A)^2 \sin^2 (2\pi dA/\lambda)}{4B \cos^2 (2\pi dA/\lambda) + (B/A + A)^2 \sin^2 (2\pi dA/\lambda)} \right], \quad (2)$$

式中  $A = (n_2^2 - n_e^2 \sin^2 i_0)^{1/2}$ ,  $B = n_e^2 \cos^2 i_0$ ,  $i_0$  为非常光从第一块直角棱镜入射到胶合层的入射角,  $d$  为膜层(光学胶)厚度, 且是均匀的。  $n_e$ 、 $n_2$  分别为 p 分量光主折射率和薄膜(光学胶)的折射率,  $i_0$  与棱镜的结构角  $\theta$  相等(正入射),  $\lambda$  为入射光波长。棱镜首

先要保证 o 光全反射, 而 e 光尽可能的透射。因此, 光学胶的折射率需要满足如下条件:

$$n_o \sin i_0 \geq n_2 \geq n_e \sin i_0. \quad (3)$$

实验中的棱镜所用胶合剂为最常用的冷杉胶, 折射率  $n_2 = 1.540$ 。令

$$f(i_0) = \left[ 1 - \left( \frac{n_e - 1}{n_e + 1} \right)^2 \right]^2 \times \left[ 1 - \frac{(B/A - A)^2 \sin^2(2\pi dA/\lambda)}{4B \cos^2(2\pi dA/\lambda) + (B/A + A)^2 \sin^2(2\pi dA/\lambda)} \right], \quad (4)$$

将  $A$ 、 $B$  表达式代入, 得到它的变化曲线如图 4 所示。由图 4 知,  $f(i_0)$  为振荡函数, 称为扰动因子, 振幅及频率都随入射角的增大而增大, 平均值随入射角的增大而减小。最后的透射光强可表示为

$$I = I_0 \cos^2 \phi \times f(i_0), \quad (5)$$

若入射角  $i_0$  不变, 则透射光强为方位角  $\phi$  的余弦函数。由于步进电机在转动过程中棱镜会产生小的振动, 致使入射角  $\theta$  在  $i_0$  (无振动时的入射角, 等于结构角) 附近作  $(i_0 \pm \Delta i)$  的变化。又因扰动因子为高频振荡函数, 所以入射角的小扰动将引起扰动因子较大的变化。考虑扰动后的透射光强为

$$I = I_0 \cos^2 \phi \times f(i_0 \pm \Delta i), \quad (6)$$

由于  $i_0$  独立于  $\phi$  改变, 所以  $I_0 \cos^2 \phi$  越大的地方, 扰动值越大。因而实验曲线中透射光强越大的位置, 扰动越明显, 呈现出随方位角周期性增强。随入射角的增大, 扰动因子振幅和频率都随之增大, 同时透射率降低, 因而入射角越小越好; 而入射角小到接近 o 光全反射角, 会影响透射偏振光质量。另外, 还要从视场角、长度孔径比和消光比等因素考虑选择结构角。从图 4 看出, 在扰动因子  $f(i_0)$  取极大值的角度处, 曲线最为平缓, 扰动最小, 而透射率最高。因此, 选取  $71.10^\circ$  附近(即大约中间位置)的极大值点作为结构角最为理想。

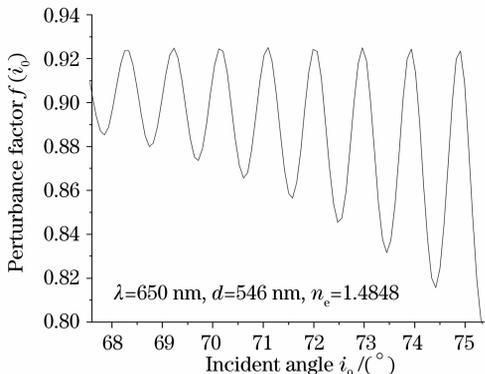


图 4 扰动因子  $f(i_0)$  随入射角  $i_0$  的变化曲线

Fig. 4 Variation of perturbance factor  $f(i_0)$  with incident angle  $i_0$

取波长  $\lambda$  为 589.3 nm, 室温  $20^\circ\text{C}$  时折射率  $n_e$  为 1.4863, 空气隙厚度  $d$  为 546 nm, 依照上述理论, 入射角  $i_0$  (即结构角) 取为扰动因子的极值点  $71.09^\circ$ 。把以上各参量代入(2)式, 作出格兰-汤普森棱镜的透射光强曲线如图 5 所示。其中为了模拟试验中入射角随电机转动所做的随机扰动, 用振幅为  $0.05^\circ$  的随机数发生器产生小的角度扰动加载到  $i_0$  ( $71.09^\circ$ ) 上作为入射角。由于已将结构角取为扰动因子变化最为平缓的极大值点, 因而相比图 2 中的实验曲线, 扰动要小一些。

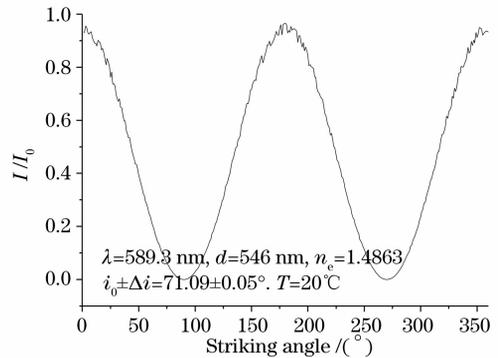
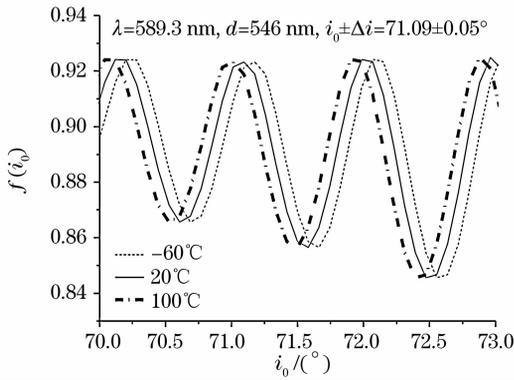
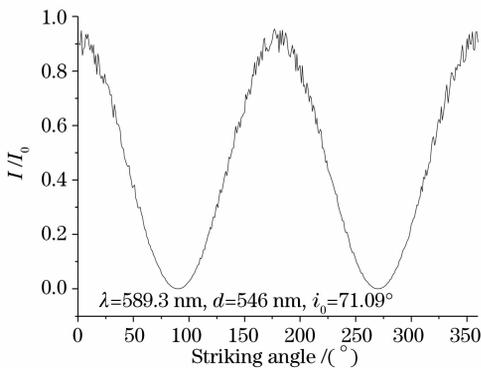


图 5 理论得到的格兰-汤普森棱镜的透射比曲线

Fig. 5 Transmittance curve of the Glan-Thompson prism

### 3.2 温度变化对扰动的影响

棱镜所用胶合剂为中性冷杉胶, 在考虑晶体温度效应时, 可以忽略其折射率的变化。作出温度分别为  $-60^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$  和  $100^\circ\text{C}$  时的扰动因子曲线, 如图 6 所示。从图中得到, 在温度改变时, 扰动因子曲线形状基本保持不变, 只是沿着水平方向产生一定的平移。为了减小扰动, 以将结构角选为室温时扰动因子曲线的极大值点。然而当温度发生变化时, 极大值点将随之发生移动。造成扰动因子在入射角  $i_0$  附近的变化随着温度逐渐偏离初始值而逐渐增大, 导致透射光强扰动增强。其他条件不变, 将温度由  $20^\circ\text{C}$  变为  $-60^\circ\text{C}$ , 作出透射光强曲线如图 7 所示。与图 5 相比较可以看出, 由于  $-60^\circ\text{C}$  时的扰动因子极大值点偏离入射角  $i_0$ , 相比  $20^\circ\text{C}$  时扰动明显

图 6 不同温度下扰动因子  $f(i_0)$  的变化Fig. 6 Alteration curve of the  $f(i_0)$  under different temperature图 7 温度为  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  时格兰-汤普森棱镜的透射比曲线Fig. 7 Transmittance curve of the Glan-Thompson prism at  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 

变大。为了定量地看出极大值点的移动情况,作出极大值点移动量随温度的变化曲线,如图 8 所示。极大值点移动量随温度成线性改变。因而随着温度逐渐偏离初始值,扰动将持续增大。以上分析表明,当温度在一定范围内变化时,为了减小扰动所带来的不利影响,应选结构角为中间温度值所对应的扰动因子在 71.09 附近的极大值角,可以使得扰动的幅度最小。

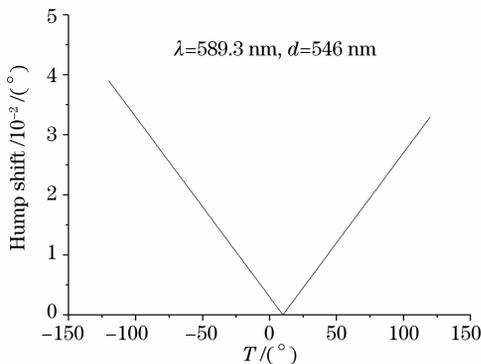


图 8 峰值点随温度的变化

Fig. 8 Hump shift with different  $T$ 

另外,通过改变胶合层的厚度,作出相应的透射光强曲线,发现随着胶合层厚度减小,扰动变小。图 9 中给出了格兰-汤普森棱镜在胶合剂厚度为 400 nm 时的透射光强曲线,其中入射角  $i_0$  取为与胶合层厚度为 400 nm 时相对应的扰动因子的极大值点。与厚度为 546 nm 时相比,扰动明显减小。

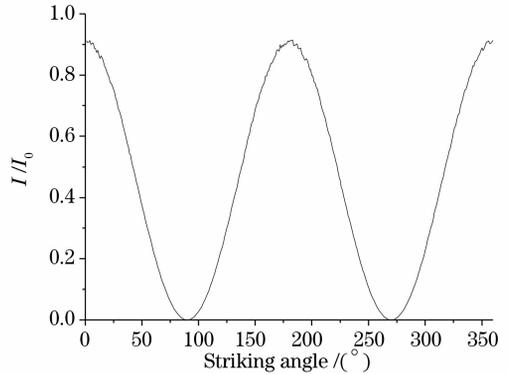


图 9 格兰-汤普森棱镜在胶合剂厚度为 400 nm 时的透射曲线

Fig. 9 Transmittance curve of the Glan-Thompson prism

## 4 结 论

由于光的干涉效应,以及晶体-胶合层界面处光的反射和干涉,导致了格兰-汤普森棱镜的透射光强对入射角有较为敏感的依赖关系。实验中棱镜在转动过程中不可避免地会产生微小振动,致使入射角在一定范围内不规则变化,最终引起透射光强的扰动。选取合适的结构角可以减小扰动。然而当温度变化时,由于扰动因子极大值点的移动导致扰动持续增强,影响透射偏振光的质量。为了减小这种不利因素,对于特定波长的入射光而言,应在允许范围内尽量减小胶合层厚度;当温度在一定范围内变化时,选取结构角为平均值温度所对应的极大值点也可以减小扰动所造成的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Li Jingzhen. *Handbook of Optics* [M]. Shanxi: Science Technology Publishing House of Shanxi, 1986, (5): 506~514  
李景镇. 光学手册[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986, (5): 506~514
- 2 Jin Guofan, Li Jingzhen. *Laser Metrology* [M]. Beijing: Science Press, 1998. 211~250  
金国藩, 李景镇. 激光测量学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 211~250
- 3 Li Guohua. *Optics* [M]. Shandong: Shandong Education Press, 1991. 405~412  
李国华. 光学[M]. 山东: 山东教育出版社, 1991. 405~412
- 4 Wang Haifeng, Wu Fuquan, Wang Hailong *et al.*. Research on refractive index of optical cement used in Glan-Thompson prisms [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(2): 108~110

- 5 Liu Houtong, Li Guohua, Ren Guangjun *et al.*. Theoretical research of effect of crystal membranous layer on light transmission of polarizing prism[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(8): 1143~1147  
刘厚通,李国华,任广军等. 晶体膜层厚度对棱镜偏光镜投射比的影响[J]. 光学学报, 2005, **25**(8): 1143~1147
- 6 Zhu Huafeng, Song Lianke, Wu Fuquan *et al.*. Cause of minute fluctuation on the transmission curve of Taylor polarizing prism [J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, **31**(1): 41~44  
朱化凤,宋连科,吴福全. 泰勒检偏棱镜透射比随旋转角周期抖动的理论分析[J]. 中国激光, 2004, **31**(1): 41~44
- 7 M. Born, E. Wolt. *Principles of Optics* (Volume one)[M]. Yang Jiasun transl., Beijing: Science Press, 1978. 34~36  
M. 波恩, E. 沃耳夫. 光学原理[M]. 杨葭荪译, 北京: 科学出版社, 1978. 34~36
- 8 Bi Jia, Wu Fuquan, Zheng Mengmeng. Study on the transmittance of Marple-Hess prism undulating with the incident angle[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(4): 716~720  
毕佳,吴福全,郑萌萌. 马普-赫斯棱镜透射比随入射角变化的波动研究[J]. 光学学报, 2007, **27**(4): 716~720
- 9 Tang Hengjing, Wu Fuquan, Deng Hongyan. Transmittance comparison of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism[J]. *Laser Technology*, 2006, **30**(2): 215~217  
唐恒敬,吴福全,邓红艳. 格兰-泰勒棱镜和格兰-付科棱镜透射比的比较研究[J]. 激光技术, 2006, **30**(2): 215~217
- 10 Kong Fanzhen, Song Lianke. Analysis of the effects of incident angle on light transmission of polarizing prisms [J]. *Optical Technique*, 2006, **32**(1): 126~128  
孔凡震,宋连科. 入射角对偏光棱镜光强透射比的影响分析[J]. 光学技术, 2006, **32**(1): 126~128