

# 双频光栅剪切干涉术检测钛宝石棒热焦距\*

孙晓泉 明海 谢建平 刘宇

张运生

(中国科技大学物理系, 合肥 230026)

(中国科技大学结构成份分析中心, 合肥 230026)

**提要** 报道了用双频光栅剪切干涉术检测钛宝石晶体在  $\text{Ar}^+$  激光器轴向泵浦下的热效应的方法, 并给出用这种方法测量钛宝石晶体热透镜焦距随不同泵浦功率变化的实验结果。

**关键词** 热透镜, 钛宝石晶体, 双频光栅

## 1 引言

自1982年P. F. Moulton研制成钛宝石激光器以来, 钛宝石激光器的研究发展迅速。连续钛宝石激光器大多采用  $\text{Ar}^+$  激光束轴向泵浦。由于泵浦功率密度高, 钛宝石晶体的热效应明显, 因此钛宝石晶体的热效应研究<sup>[1~3]</sup>引起了人们的重视。

钛宝石晶体的热效应主要表现在两个方面: 一是采用  $\text{Ar}^+$  激光纵向泵浦时, 晶体所吸收的一部分能量转变为热, 使泵浦光束附近温度升高, 荧光效率下降; 另一是温度效应使晶体折射率出现梯度分布, 产生热透镜、热畸变。由于钛宝石晶体内的泵束半径很小(小于  $100 \mu\text{m}$ ), 一般用于测量激光晶体整体热透镜焦距的光线偏转法、双光束焦点法<sup>[4]</sup>和双光束干涉法<sup>[5]</sup>等都不便于测量泵束范围的热透镜焦距。本文提出用双频光栅剪切法检测钛宝石激光晶体的热透镜效应, 给出不同泵浦功率下热透镜焦距的测量结果。

## 2 实验原理与装置

当一束准直光经透镜会聚照射到双频光栅上时, 在其一级衍射  $\theta$  方向的两道衍射波形成剪切干涉图。若双频光栅与观察屏的间距为  $L$ , 则横向剪切量  $\Delta x = \lambda / (d' \cos\theta) L$ ,  $d'$  为光栅拍频周期,  $\lambda$  为入射光波长。若透镜存在像差, 剪切干涉条纹满足的波像差  $W(x, y)$  方程为

$$\Delta x \frac{\partial W}{\partial x} = [B(x^2 + y^2)x + 2D_0x]\Delta x = n\lambda \quad (1)$$

式中  $B$  为常因子,  $D_0$  为离焦时波面误差项,  $n$  为整数。当  $\Delta n = 1$  时, 微分上式可得条纹间距

$$\Delta d = \frac{\lambda}{\Delta x} \frac{1}{3Bx^2 + 2D_0} \quad (2)$$

显然  $D_0 = 0$ , 即不存在离焦时, 条纹间隔最大, 这就是在近轴焦点处的判据。如果用轴向泵浦的钛宝石棒代替透镜, 则可判断热透镜焦点的位置, 从而测得焦距。

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994年4月1日; 收到修改稿日期: 1994年5月23日

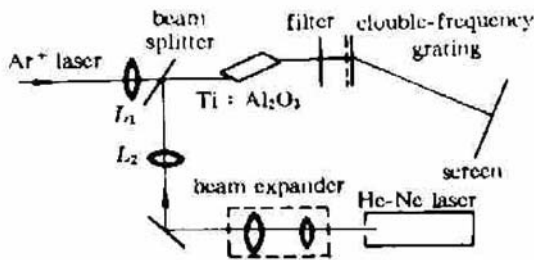


Fig. 1 Experimental arrangement for measuring the thermal focal length of an axially pumped Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rod

图 1 是测量装置示意图。非偏振 He-Ne 激光经准直后成平行光束,通过焦距为  $f_0$  的透镜  $L_2$  会聚穿过晶体,最后由双频光栅衍射,在光屏上产生剪切干涉条纹。泵浦的 Ar<sup>+</sup> 激光经会聚透镜  $L_1$  进入晶体,在晶体内部与 He-Ne 激光共轴,最后残余光将被滤光片滤除。具有热透镜的钛宝石棒等价于两段厚度为  $t$  的真空层夹一薄透镜<sup>[6]</sup>,其焦距  $f_H$  即为热透镜焦距。由  $L_2$  至晶体的

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_H & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中  $b$  为  $L_2$  经分束镜至晶体前端面的距离。于是焦点距晶体后端面的距离  $S = -A/C$ 。无和 Ar<sup>+</sup> 激光泵浦时的焦点位置不同,移动量  $\delta$  为

$$\delta = S_0 - S = \frac{(f_0 - b)^2 + t(t + 2b - f_0)}{f_0 + f_H - t - b} \quad (4)$$

于是通过  $\delta$  可求得热焦距  $f_H$ 。对端面为布儒斯特角切割的钛宝石棒, $t$  在水平面和垂直面内的数值分别为  $l_0/2n^3$  和  $l_0/2n$ ,  $l_0$  为棒长, $n$  为折射率。

### 3 实验和结果

实验中将端面按布儒斯特角切割的钛宝石棒( $\phi 4 \times 11.5$  mm)置于水冷器内,并用导热胶使之热接触良好。钛宝石棒端面垂直于光学平台。Coherent 公司 Innova 10 型 Ar<sup>+</sup> 激光器输出为水平全綫方式。Ar<sup>+</sup> 激光经焦距为 120 mm 的  $L_1$  会聚后进入晶体,输入功率的 75% 被晶体吸收。测得晶体内部垂直面泵束半径  $\omega_p = 50 \mu\text{m}$ 。  $L_2$  的焦距  $f_0 = 173$  mm, 距离  $b = 123$  mm。双频光栅拍频周期  $d' = 0.125$  mm, 它对正入射 He-Ne 激光的一级衍射角为  $19^\circ$ 。分别以光栅条纹竖直和水平两种方式放置光栅,检测钛宝石棒水平和垂直两个面的热透镜效应。

将光栅放置在 He-Ne 光的焦点以外,可方便地观察到 Ar<sup>+</sup> 激光泵浦时产生的折射率分布。图 2 (a), (b) 分别为无和有 Ar<sup>+</sup> 激光泵浦时原位拍摄的水平剪切干涉图。图 2 (b) 相对 (a) 的条纹弯曲就是由 Ar<sup>+</sup> 激光束引起的温度梯度所产生。

我们测量了不同泵浦功率 ( $P_m$ ) 下焦点位置的移动量 ( $\delta$ ), 三次测量平均结果列于表 1。根据 (4) 式可求得  $f_H$ , 并有误差计算公式

$$\begin{aligned} \Delta f_H = & \left( \frac{2f_0 - 2b - t}{\delta} - 1 \right) \Delta f_0 + \left( \frac{2f_0 - 2b + 2t}{\delta} + 1 \right) \Delta b \\ & + \left( \frac{2b + 2t - f_0}{\delta} + 1 \right) \Delta t + \frac{(f_0 - b)^2 + t(t + 2b - f_0)}{\delta^2} \Delta \delta \end{aligned} \quad (5)$$

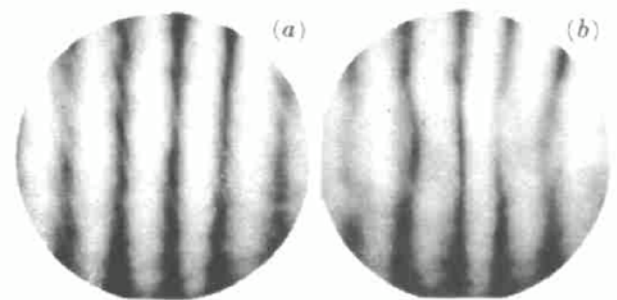


Fig. 2 Interferograms taken at the screen when the double-frequency grating was put farther than the focal point from the Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystal  
(a) without Ar<sup>+</sup> laser pumping; (b) with Ar<sup>+</sup> laser pumping

各计算结果均列于表 1 中。显然,由于  $\delta$  数值一般较小,  $\Delta\delta$  对  $\Delta f_H$  的影响最大。选用拍频周期较高的双频光栅,并结合 CCD 观测干涉条纹变化,应能进一步提高测量精度。

Table 1 Experimental results of thermal focal lengths of a Ti : sapphire rod

$P_{in}$ (W)	$\delta$ (mm)		$f_H$ (cm)		Eq. (5)
	Tangential	Sagittal	Tangential	Sagittal	
2.7	$2.2 \pm 0.5$	$3.0 \pm 0.4$	$128 \pm 38$	$81 \pm 18$	$\Delta f_0 = 1 \text{ mm}$
3.6	$3.8 \pm 0.6$	$4.8 \pm 0.6$	$68 \pm 17$	$49 \pm 11$	$\Delta b = 1 \text{ mm}$
4.3	$5.0 \pm 0.5$	$6.2 \pm 0.4$	$50 \pm 10$	$37 \pm 6$	$\Delta t = 0.1 \text{ mm}$
5.5	$6.2 \pm 0.4$	$8.6 \pm 0.5$	$40 \pm 6$	$25 \pm 4$	

Note:  $\delta$  is defined as the displacement of the focal point induced when the pump  $\text{Ar}^+$  laser is on and off.  $P_{in}$  is the pump laser power. The error  $\Delta f_H$  is calculated after Eq. (5), there  $f_0$  is the focal length of  $L_2$

本文提出用双频光栅剪切干涉术测量纵向连续泵浦的钛宝石晶体的热透镜焦距的方法,测得在泵束半径为  $50 \mu\text{m}$ 、泵浦功率为  $2 \sim 6 \text{ W}$  时,热焦距约几十厘米。

致谢 参加本工作的还有戴特辉、吴云霞、耿玉珍等,作者谨致谢意。

### 参 考 文 献

- 1 P. A. Schulz. Single-Frequency Ti :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Ring Laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1988, **QE-24** : 1039
- 2 U. O. Farrukh, A. M. Buoncrisiani, C. E. Byvik. An Analysis of the Temperature Distribution in Finite Solid-State Laser Rods. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1988, **QE-24** : 2253
- 3 M. R. H. Knowles, C. E. Webb. Cavity configurations for copper vapour laser pumped titanium sapphire lasers. *Opt. Commun.*, 1992, **89** : 493
- 4 吕百达 著. 激光光学, 成都: 四川大学出版社, 1986. 324
- 5 黄国松 等. 钽玻璃圆筒激光器的热畸变. *物理学报*, 1990, **39** : 367
- 6 魏光辉, 朱宝亮 编著. 激光束光学. 北京: 北京工业出版社, 1988. 361, 154

## Measurement of the Thermal Lensing of a Ti : sapphire Rod with Double Frequency Holographic Grating

Sun Xiaoquan Ming Hai Xie Jianping Liu Yu

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Zhang Yunsheng

(Structure Center, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

**Abstract** An interferometric technique with double-frequency grating used to measure the thermal lensing of a Ti : sapphire rod pumped with  $\text{Ar}^+$  laser axially is presented. The experimental results concerning the thermal focal length variation with pump power are given.

**Key words** thermal lensing, Ti : sapphire, double-frequency grating