

片状放大器的静态波象差及对激光束方向性的影响

唐贤忠 郑玉霞 林亚风 余文炎

(中国科学院上海光机所)

提要: 用三平板同轴全息干涉仪,研究了通光口径为 $\phi 100\text{mm}$ 磷酸盐钽玻璃片状放大器的静态波差畸变;用 CCD 扫描测出再现焦点的尺寸,由此给出静态波象差对激光方向性影响的定量结果。

Statistical aberration in disk amplifiers and its effect on divergence of laser beams

Tang Xianzhong, Zheng Yuxia, Lin Yafeng, Yu Wenyan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Investigation of statistical aberration in the phosphate glass disk amplifier with 100mm aperture by coaxial holographic method is reported. By CCD, the reconstructed focus spot d is measured, from which, the effect of statistical aberration on the divergence of laser beam is obtained.

一、引言

在激光系统中,影响激光束的因素很多,主要有材料和表面面形等引起的静态波象差;光泵热畸变引起的动态波象差;非线性效应引起的非线性波象差和小尺寸自聚焦。它们都带有随机性质,因此,可用统计方差来计算总体波差畸变

$$\Delta f = \left[\sum_{i=1}^N (\Delta f_i)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

这里我们主要研究静态波象差,包括材料折射率不均匀性 ΔN 、钽玻璃片表面加工面形和由装校过程中引起钽玻璃片形变等产

生的波象差。对选定的材料,不均匀性所产生的波象差是一个确定值 ($\Delta N \cdot L$),而加工面形可以用正负公差进行补偿,使产生的波差最小。

在片状放大器中的钽玻璃片都按布儒斯特角放置,钽玻璃片的表面面积大,由钽玻璃片面形的不平度会带来显著的象散和其它象差。在装校过程中,由于钽玻璃片的形变而产生的应力所产生的静态波象差,及对激光束质量的影响。对于大口径片状放大器是一个非常重要的参数。

我们用同轴全息干涉仪,对由 6 片 $\phi 106 \times 198 \times 25(\text{mm})$ 的磷酸盐钽玻璃片构成的

收稿日期:1986年6月4日。

通光口径为 $\phi 100\text{ mm}$ 的片状放大器的静态波象差和象散进行了研究。

二、静态波象差的测量

1 铍玻璃片表面加工面形引入的波象差

6片 $\phi 100\text{ mm}$ 通光口径铍玻璃片加工面形的误差 ΔN_A 和 ΔN_B , 由平面干涉仪测得, 其数值为:

序号	ΔN_A	ΔN_B
1	$+\frac{1}{30}\lambda$	$+\frac{1}{30}\lambda$
2	$+\frac{1}{30}\lambda$	$-\frac{1}{18}\lambda$
4	$+\frac{1}{30}\lambda$	$+\frac{1}{20}\lambda$
5	$+\frac{1}{30}\lambda$	$-\frac{1}{15}\lambda$
6	$+\frac{1}{30}\lambda$	$-\frac{1}{10}\lambda$
8	$-\frac{1}{25}\lambda$	$-\frac{1}{25}\lambda$

λ 是检测光的波长, 此处 $\lambda = 0.6328\ \mu\text{m}$ 。

由加工面形带来的波差畸变, 可以用有意控制正负公差进行自补偿, 使产生的波象差最小。加工面形引入的总波差畸变为:

$$\begin{aligned} \Sigma(\Delta N_A + \Delta N_B) &= 6 \times \frac{1}{30}\lambda - \frac{1}{10}\lambda - 2 \times \frac{1}{25}\lambda \\ &\quad - \frac{1}{18}\lambda + \frac{1}{20}\lambda - \frac{1}{15}\lambda = -0.052\lambda \end{aligned}$$

2. 材料的不均匀性引入的波差

材料的不均匀性 $\Delta N = 2 \times 10^{-6}$, $\phi 100\text{ mm}$ 片状放大器中的铍玻璃片的光程长度为

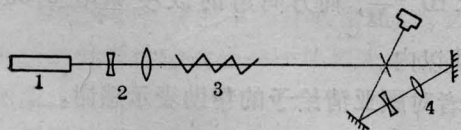


图1 测量示意图

1—He-Ne 激光器; 2—扩孔(缩孔)望远镜(扩孔到 100 mm); 3—片状放大器; 4—同轴全息干涉仪; 5—照相机

18 cm 。于是, 由材料不均性引起的波差为:

$$\begin{aligned} \Delta N \cdot L &= 2 \times 10^{-6} \times 18 = 3.6 \times 10^{-5}\text{ cm} \\ &= 0.57\lambda \end{aligned}$$

3. 铍玻璃片形变引起的波象差

我们利用三平板同轴全息干涉仪, 测量了片状放大器总体的静态波象差, 由此得到由装校形变引入的波差。

由片状放大器没有装片和装片后测得的全息干涉图, 经全息再现得 $R_{\text{全}}$, 由公式(2)得到波面半径 R ,

$$R = (M^2 - M^{-2}) R_{\text{全}} \frac{\lambda_{\text{被测}}}{\lambda_{\text{再现}}} \quad (2)$$

这样, 可分别得到前焦线(子午焦线)、再现焦点、后焦线(弧矢焦线)及其对应的波面半径, 见图2的(b)、(c)、(d)。

一组典型的数据为:

		前焦线	再现焦点	后焦线
无片时	$R_{\text{全}}$	7.25 M	7.61 M	8.57 M
	$R_{\text{波面}}$	72.42 M	76.02 M	85.61 M
有片时	$R_{\text{全}}$	7.10 M	7.9 M	8.95 M
	$R_{\text{波面}}$	70.93 M	78.92 M	84.41 M

由等效光焦度公式

$$\phi = \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_{0\text{片}}} \quad (3)$$

得到片状放大器的等效光焦度

$$\phi = \frac{1}{76.02} - \frac{1}{78.92} = 4.8 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{M}}$$

其等效焦距为:

$$f = \frac{1}{\phi} = 2068.9\text{ M}$$

由波差公式

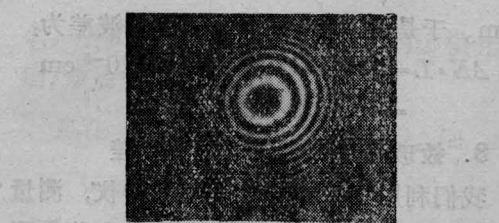
$$\Delta h = \frac{r^2/2 \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_{0\text{片}}} \right)}{0.6328 \times 10^{-6}} \quad (4)$$

(此处 r 为片状放大器的通光半径) 可求出总静态波差为

$$\Delta h = 0.95\lambda。$$

由片状放大器引入的象散是:

$$\Delta\phi = \left(\frac{1}{R_{\text{前片}}} - \frac{1}{R_{\text{后片}}} \right) - \left(\frac{1}{R_{\text{前}}} - \frac{1}{R_{\text{后}}} \right)$$

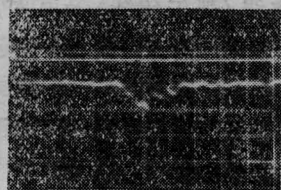


(a) 无片时的全息图



(b) 前焦线 (c) 焦点 (d) 后焦线

(b) 前焦线 (c) 焦点 (d) 后焦线



(e) 焦点 y 方向 CCD 扫描波形, 0.405 mm/div

图 2

$$= 7.92 \times 10^{-4} \frac{1}{M}$$

$\phi 100$ mm 片状放大器的总静态波差为 0.95λ , 其中材料为 0.57λ , 加工不平度为 0.048λ , 从而可求出由形变等引入的波差, 由(1)式可得到

$$(0.95^2 - 0.57^2 - 0.052^2)^{1/2} \lambda = 0.76\lambda$$

这个量还是比较大的。如果这么大的波差是无规的, 非球面对称的, 那么就一定使得激光的方向性明显变坏。

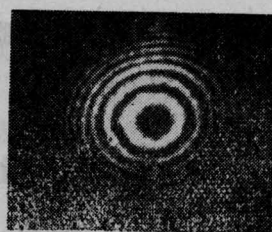
我们用 CCD 扫描测量了再现焦点的尺寸。无片时再现焦点的尺寸(如图 2 所示)为:

$$\bar{d}_0 = 0.87 \text{ mm}$$

有片时再现焦点(如图 3 所示)为:

$$\bar{d}_1 = 1.07 \text{ mm}$$

方向角的改变量

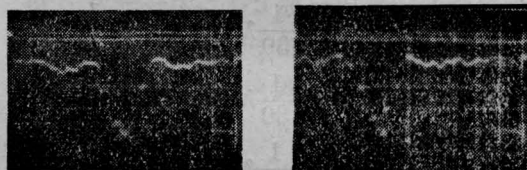


(a) 有片时的全息图



(b) 前焦线 (c) 焦点 (d) 后焦线

(b) 前焦线 (c) 焦点 (d) 后焦线



(e) 焦点 y 方向 CCD 扫描波形

(f) 焦点 x 方向 CCD 扫描波形, 0.405 mm/div

图 3

$$\Delta Q = \frac{\bar{d}_1}{R_{0\text{全片}} M (1 - M^{-4})} - \frac{\bar{d}_0}{R_{0\text{全}} M (1 - M^{-4})} = 0.007 \text{ mrad}$$

由总静态波差引起的方向改变量是不大的, 这也说明在精心安装钹玻璃片的情况下, 由于钹玻璃片变形引入的静态波象差对激光束质量的影响也是不大的。这只能说明钹玻璃片变形引入的静态波象差的形态呈球面或准球面对称的, 而整台片状放大器只是相当于插入一个光焦度很小的附加透镜, 使得入射的激光波面发生改变, 其等效的光焦度为 $4.8 \times 10^{-4} \frac{1}{M}$, 而方向角的改变量在 0.007 mrad 以内。

作者对顾亚清给予的帮助表示感谢。