

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0430-04

光学元件的激光损伤阈值测试平台

杨镜新, 庄亦飞, 高奇, 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 建立了用于光学元件和材料的激光(1064 nm 与 355 nm)损伤阈值测试平台。按照 ISO-DIS 11254-1.2 的测试规范, 采用 1-on-1 打点与激光损伤几率的方法给出被测样品的激光损伤阈值。研制了激光光斑有效面积测试装置, 提高了光学元件激光损伤阈值的测试精度。

关键词 激光技术; 激光损伤阈值; 有效面积; 损伤几率

中图分类号 TN247

文献标识码 A

Platform for Laser Induced Damage Threshold Test of Optical Elements

YANG Jin-xing, ZHUANG Yi-fei, GAO Qi, LIN Zun-qi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract A platform for laser (1064 nm and 355 nm) induced damage threshold test of optical elements have been established. According to the international standard "ISO/DIS 11254-1.2" adopted, one shot on each unexposed site on the sample surface (1-on-1) and a new method of laser induced damage probability have been adopted. The laser induced damage threshold test accuracy has been increased by using a effective area test system in platform.

Key words laser technique; laser induced damage threshold; damage probability; effective area

1 引言

光学元件的激光损伤阈值是高功率激光系统中的重要参量之一, 在某种程度上决定了高功率激光装置所能达到的性能。而光学元件的激光损伤阈值随测试环境、测试人员、测试系统等诸多因素的影响, 其结果会有较大的出入。因此建立适合现有条件的光学元件激光损伤阈值测试标准, 规范被测样品的损伤判定方法是必要的。

2 测试平台

测试平台包含有二台激光器。按照一台激光器输出 1064 nm 基频激光。另一台激光器输出 355 nm 三倍频激光用于损伤阈值测试。激光基频(1064 nm)最大可输出能量 800 mJ, 脉冲宽度 8 ns 左右。三倍频最大可输出能量 20 mJ, 脉冲宽度 4 ns 左右。图 2 为激光基频和三倍频时间波形。测试时的脉冲重复率为 1 Hz 或单次。激光输出能量调节器由二块偏振膜片相互正交放置, 中间放置二分之一波片组成^[4]。二分之一波片转动一定角度就能调节激光器输出能

量。放置被测样品的 X-Y 方向可移动平台由二个步进电机控制。采用 LEICA DM R HCS 显微镜进行激光损伤点的离线检验。

3 光学元件的激光损伤几率^[2]

光学元件的激光损伤阈值测试, 其最主要的概念有 2 个。第 1 个是损伤几率的概念; 第 2 个是打在被测样品上的激光光斑的有效面积的概念。

采用损伤几率的概念和方法主要是基于以下的考虑: 1) 由于在测试过程中采用的是小光斑的测试装置, 即打在被测光学材料上的激光光斑的直径约为 1 mm 左右, 面积仅为零点几个平方毫米。这样的测试面积只能体现局部, 要反映出整个被测光学元件的整体的激光损伤阈值是不完整的和不准确的。只有在被测元件上打到一定数量的点数, 才能获得较为准确的数据。2) 由于在测试过程中存在着系统误差和随机误差, 例如激光器的输出能量的起伏, 脉冲宽度的起伏, 参量测试装置的精度, 测试环境的影响。以及被测元件本身的问题, 例如在大口径光学元

基金项目: 本研究课题由国家高技术研究发展计划专项经费(2003AA842080)资助课题。

作者简介: 杨镜新(1950-), 男, 中国科学院上海光学精密机械研究所高级工程师, 主要从事高功率激光技术与光学材料的激光损伤阈值测试研究。E-mail: jxyang@mail.shcnc.ac.cn

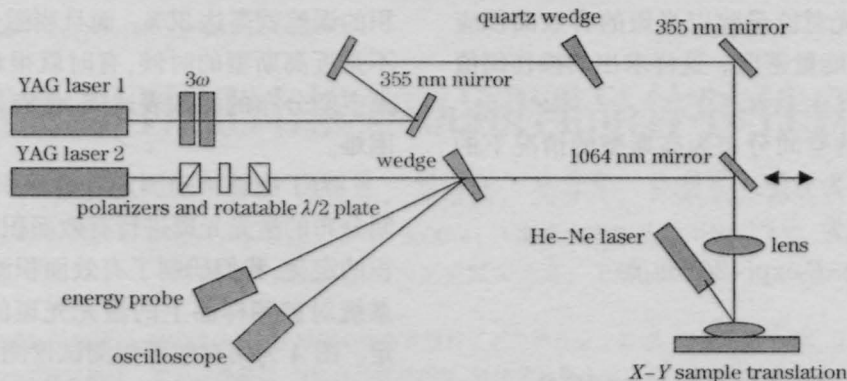


图1 光学元件损伤阈值测试基本光路图

Fig.1 Schematic diagram of laser induced damage threshold test

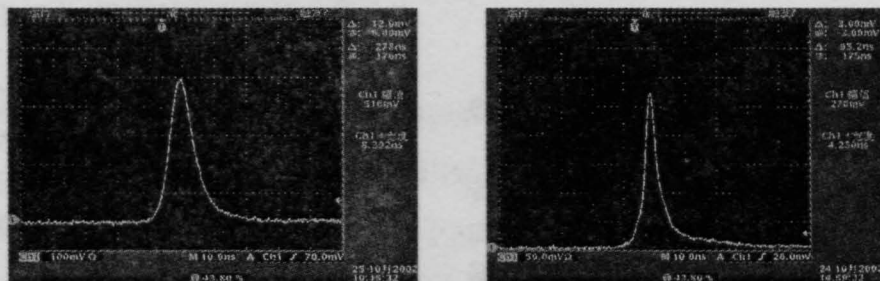


图2 激光基频和三倍频时间波形

Fig.2 Oscilloscope photograph of laser pulse shapes on 1064 nm and 355 nm

件上镀制膜层时可能产生的不均匀等。因此在某个能量档次上只打一次的方法存在着很大的误差。必须在某个能量档次上打多次，每次都打在不同的点上。然后算出每个档次的损伤点及损伤几率。在接近零损伤几率的能量档次上所算出的能量密度即为该材料的激光损伤阈值。图3是被测光学元件样品的激光损伤阈值测试图。采用被测样品损伤几率的测试方法可以在较大程度上软化由于各种误差对损伤阈值测试所带来的影响，提高测试的精度。

图3表明激光在被测样品上的弹着点测试示意图。采用1-on-1的测试方法。每个激光弹着点之间的间隔约3mm。每行激光点对应一激光输出能量。共有5个不同的激光能量。从上往下，每排能量

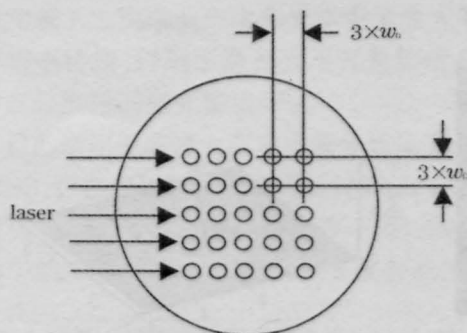


图3 样品的激光损伤阈值测试图

Fig.3 Test pattern for performance of damage threshold test

依次递减，直到在某排上打不出损伤点对应的激光能量，即为此被测样品的激光损伤阈值。

4 被测样品上的激光光斑的有效面积

由于光学元件的激光损伤阈值是指激光与光学材料元件相互作用后不产生损伤时的最大的激光能量密度。因此我们要计算光学材料的激光损伤阈值，关键是要知道打在被测材料上的激光总能量以及打在被测材料上的激光光斑的有效面积。有效面积的概念在激光损伤阈值测试中是至关重要的。因为实际的激光能量的空间分布并不总是均匀对称分布的，这就很难准确地计算激光光斑的面积。而在被测元件上总存在一个激光峰值能量密度，这个能量密度是最容易对材料产生损伤的。因此就不能简单的用激光总能量除以光斑几何面积的方法来确定损伤阈值。而是要用激光总能量除以光斑的有效面积来确定。有效面积是这样定义的^[4]，如果激光光束的空间分布是稳定的(并不要求是均匀分布的)，则激光总能量 Q ，峰值能量密度 H_{max} 和光束有效面积 A_{eff} 之间的关系为

$$A_{eff} = \frac{Q}{H_{max}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(x,y) dx dy}{H_{max}}$$

换句话说,就是激光总能量除以光斑的有效面积应该等于光斑的峰值能量密度。这样求出的损伤阈值是准确的。

对于激光输出的空间分布为高斯型的情况下的有效面积的计算较为方便:

高斯光束的表达式为

$$E(r)=E_0\exp[-2(r^2/w_0)^2]$$

则总能量为

$$J=\int_0^{2\pi}\int_0^\infty E_0\exp(-2r^2/w_0^2)rdrd\theta=\pi w_0^2 E_0/2$$

有效面积为:

$$A_{\text{eff}}=\frac{\pi w_0^2 E_0}{2} \div E_0 = \frac{\pi w_0^2}{2}$$

w_0 为中心峰值下降到 e^{-2} 时,所对应的光斑的半径,因此只要测出 w_0 就可知道 A_{eff} 。采用光楔法,即借助于尖劈的多次反射,使激光束分成多束,即传播方向不同,但能量分布比例不变而强度变化可知的子光束,在场图纸上打出一列损伤斑点。经数据处理后就测出 w_0 。例如测得 w_0 为 0.5 mm,则光斑的有效面积为

$$0.785 \text{ mm}^2 \div 2 = 0.393 \text{ mm}^2。$$

由于高斯型或近高斯型的光束的空间分布具有对称性,所以可以方便地计算其有效面积的表达式。但是在测量 w_0 时由于光斑的边缘比较模糊,给准确测定带来一定的麻烦,误差比较大。例如当光斑直径为 1 mm 的时候,半径误差为 0.1 mm,则有效面

积的误差就高达 36%。而且当激光光束的空间分布不是近高斯型的时候,有时就很难或者无法确定光束空间分布的函数表达式,使有效面积的计算带来困难。

为了能够精确测定有效面积,并且能对任意空间分布的激光光斑进行有效面积测试。按照有效面积的定义,我们研制了有效面积测试仪。采用 CCD 系统对被测样品上的激光光斑的有效面积进行测定。图 4 为用有效面积测试仪测出的在样品上激光光斑的一维、二维和三维的图形。其中(a)是激光光束近高斯分布情况下,而(b)是在非高斯分布时测的。稳定的激光有效面积,并不是说激光的输出能量不能改变,而是要求在激光输出能量改变的情况,激光打在样品上的光束有效面积不能变化。在激光损伤阈值的测试过程中,为保持激光光束的有效面积不变,要使激光器一直工作在具有较高的输出能量,具有最佳的工作状态。而能量的调节采用在光路中加入能量调节器的方法。

5 CCD 测光斑有效面积

激光出射的位置到靶平面距离是确定的。被测样品放在聚焦凸透镜的焦点上,焦距作为一参量是恒定的。测试阈值前把 CCD 置于 X-Y 工作台上,即在靶平面上。激光光束经衰减片衰减后,传递到 CCD,测量靶平面光斑有效面积。光束的图像由 CCD 摄取存储,然后由 MATLAB 软件分析处理得到一维、二维、

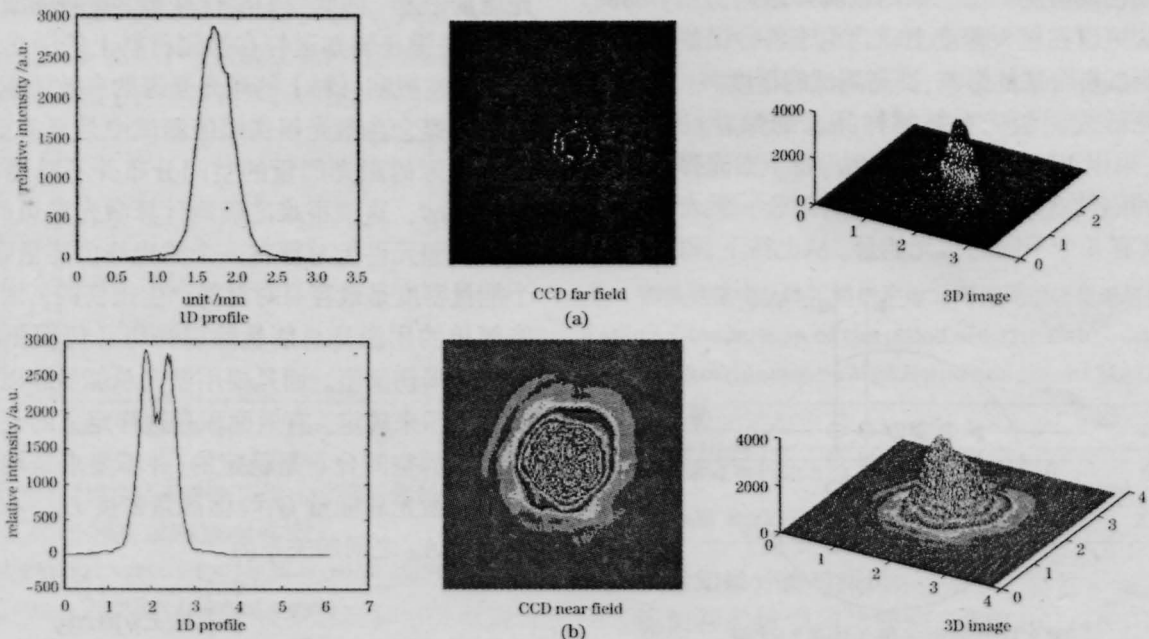


图 4 激光光斑有效面积测试

Fig.4 Calculated form measured data of effective area on laser spot

三维空间分布图像从而得到光斑有效面积。

最大能量密度

$$I_0 = \max[\lim_{A_{\text{Hole}} \rightarrow 0} (E_{\text{hole}}/A_{\text{hole}})]$$

其中点面积 A_{Hole} 是常量, 并且不小于像元素尺寸, 因此

$$I_0 = E_{\text{max in one pixel}}/A_{\text{pixel}} = E_{\text{mp}}/A_{\text{pixel}}$$

根据光斑有效面积定义得到

$$A_{\text{eff}} = A_{\text{pixel}} \times E_t / E_{\text{mp}}$$

CCD 的像元尺寸

$$A_{\text{pixel}} = 24 \mu\text{m} \times 24 \mu\text{m} = 5.76 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

只要确定 E/E_{mp} 的比值就能得到 A_{eff} 。要求 CCD 的每一像元和观察到能量是线性关系; 摄取时噪声背景很小; 处理时噪声背景被减去; CCD 动态范围要大。光斑有效面积的计算公式

$$A_{\text{eff}} = (E_t - E_{\text{Background}}) / E_{\text{mp}} \times A_{\text{pixel}}$$

其中 E_t : 总能量, $E_{\text{Background}}$: 背景能量, E_{mp} : 在一个像元最大能量, A_{pixel} : 像元尺寸。

在高斯分布状态下, 我们用光楔法与有效面积测试仪分别进行了被测样品上的激光光斑有效面积的测试。结果是用光楔法测得的有效面积为 0.368 mm^2 , 用有效面积测试仪测得的有效面积为 0.363 mm^2 。

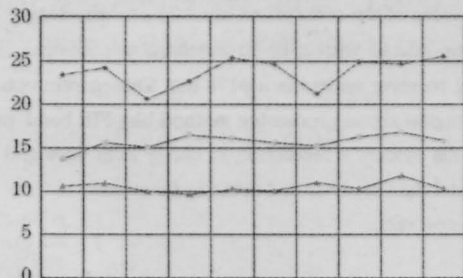


图5 激光器基频不同档次能量输出起伏

Fig.5 Laser pulse energy stability on different energy steps

6 激光损伤阈值测试实验

为了在测试过程中尽量使激光输出的能量起伏减到最小, 对不同档次的激光输出能量起伏实验进行了分析。表1为三组激光能量用同一台激光器在

表1 激光输出能量起伏实验

Table 1			
	No.1	No.2	No.3
Average /a.u.	23.70	15.62	10.38
Variance	2.61	0.57	0.62
Standard deviation	1.61	0.76	0.78

三个不同的放电电压下所获得的。

三组能量计读数是在实际的损伤阈值测试过程中, 通过4%分光所测得;

三组能量计读数代表三个不同档次的激光能量输出(相对):

第一组数据显示激光能量离散度较大, 而第二组和第三组数据显示能量的离散度较小。激光能量起伏绝对值在各个能量档次上是不同的。起伏较小的第二和第三组能量是在膜层的激光损伤阈值附近, 这对于准确测量损伤阈值是有利的。

7 结论

在国家高技术研究发展计划专项经费资助下, 建立了基频(1064nm)三倍频(355nm)的光学元件与材料的激光损伤阈值测试装置, 以及相应的损伤点检验设备。按照ISO11254-1.2的测试规范与有关定义; 采用了激光损伤几率的测试方法; 研制了激光光斑有效面积测试仪。提高了损伤阈值的测试精度。

参考文献

- 1 International Standard ISO/DIS11254, Optics and optical instruments-laser and laser related equipment-test methods for laser induced damage threshold of optical surfaces[S]
- 2 Laser-induced damage threshold and certification procedures for optical materials [S]. National aeronautics and space administration Langley research. Hampton, Virginia 23681-2199
- 3 J. Hue, J. Garrec, P. Ravel *et al.*. Beam characterization: application to laser damage threshold[C]. *SPIE*, 1998, **3578**: 633-644
- 4 Wolfgang Riede. Single and multiple pulse Nd:YAG laser damage on ZnSe optics[C]. *SPIE*. 1998, **3244**:149-154