文章编号:1001-5078(2013)07-0732-04

· 激光应用技术 ·

光学薄膜激光损伤测试平台的构建

金辉霞1,柏 娜2

(1. 湖南城市学院通信与电子工程学院,湖南 益阳 413000;2. 东南大学移动通信国家重点实验室,江苏 南京 210096)

摘 要:设计构建了一光学薄膜激光损伤测试平台,通过图像检测法,激光散射法两种方法综合测试、评价损伤阈值。本系统由激光器、扩束、衰减、分光、散射探测、CCD 探测等部分组成。 对溶胶凝胶法制备的 SiO₂ 薄膜进行激光损伤阈值测试,实验表明,此测试平台可准确的测量 损伤阈值,为研究薄膜的抗激光损伤提供了有效的测试手段。

关键词:激光损伤;平台;光学薄膜

中图分类号:TN249 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2013.07.003

Laser damage test platform for optical thin film

JIN Hui-xia¹, Bai Na²

(1. School of Electronic and Communication Engineering, Hunan City University, Yiyang 413000, China;

2. National Mobile Communication Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A laser damage test platform for optical film is designed. The damage threshold is tested and evaluated through the image detection and laser scattering. The system consists of a laser, beam expander, attenuator, scattering detector, optical detection, CCD, etc. Laser damage of SiO_2 thin film threshold is tested, the thin film is prepared by sol gel method. The experiments show that this test platform can accurately measure the damage threshold and provide effective means to study laser damage of the thin film.

Key words: laser damage; platform; optical thin film

1 引 言

光学薄膜在光学元件中起着重要的作用,光学 薄膜是导弹、遥感卫星等航天飞行器中导引、定位、 遥感系统中的重要组成元件,也是激光系统中非常 重要且易损伤的薄弱环节^[1]。同时,激光对光学薄 膜元件的破坏也是限制激光向高功率发展的主要因 素之一。因此,研究光学薄膜激光损伤,对研制与改 进强激光系统并扩展到其他科研生产中的应用,具 有非常重要的意义。

激光照射在光学表面,光学表面会产生温升、膨胀、物质升华等非线性现象^[2],并产生不可逆转的破坏——激光损伤。影响光学薄膜激光损伤的因素很多,是一个复杂的过程,阈值是这些因素最直接的综合反映^[3],光学薄膜的抗激光损伤能力作为衡量 光学元件在多大范围的激光能量下工作是安全的,即损伤阈值的准确测定就尤为重要。

本文就这一问题设计构建了光学薄膜激光损伤 阈值测试平台。实验证明,本系统能准确测出测试

样品的损伤阈值。

2 损伤判识方法

现阶段主要有相衬显微镜观察法^[4]、等离子体 闪光法^[5]、激光散射法^[6]、光热偏转法^[7]、透射反射 扫描法^[7]、光声法^[8]以及基于计算机图像处理^[9-10] 的方法等。

其中,相衬显微法是 ISO11254 的指定方法, 精度高,但无法在线检测。等离子闪光法利用激 光损伤光学表面时大多伴随等离子体闪光发生的 特性来实现损伤判定的方法,但探测器附近空气 中的杂质被激光辐照也会产生闪光,产生误判,影 响测试结果。激光散射法是利用光学表面在被激 光损伤后,表面相貌的变化对激光的作用结果不

基金项目:国家自然科学基金(No. 61204039);湖南省教育厅优 秀青年项目(No. 12B023)资助。

作者简介:金辉霞(1980 -),女,硕士,讲师,研究方向为图像处理。E-mail;jinhuixia1980@163.com

收稿日期:2012-12-19;修订日期:2013-01-19

同实现判定的,灵敏度较高,可实时检测。图像法 是利用损伤前后图像的差别,判定材料发生损伤, 准确度较高。

本文采用图像法和散射法两种方法同时检测, 同时给出两种方法的测试结果,以图像法测试结果 为主,散射法为辅,相互佐证给出测试阈值。

3 测试方案

在选定测试方法的基础上,设计了方案,构建了 测试光路及平台,结构示意图如图1所示。



图1 测试平台系统结构示意图

Fig.1 structure diagram of the test platform system 激光器发出的光束经扩束、准直为一平行高斯 光束,直径为25 mm;经过程控衰减机构调节照射到 被测薄膜样品表面的激光能量;衰减后的激光光束 经过聚焦镜汇聚,经过分光镜把激光器每发出的一 个脉冲,都将5%左右的激光能量反射到能量计用 以实时监测激光能量一部分分光到能量计上,被能 量计直接探测,另一部分投射过分光镜照射到模板 样品表面;照射到被测样品表面光束直径约为0.8 mm,分别用 CCD 探测器摄取激光照射后样品表面 的图像,通过摄取激光照射样品表面前后的宏观表 面变化的图像处理,确定阈值;另一个用散射探测器 探测经样品反射后的激光能量,与分光镜分光后能 量计探测能量进行对比,确定阈值。

4 测试平台的构建

测试平台如图 1 所以,主要包括激光器、衰减器、散射探测器、CCD 探测器、样品夹持及调节机构等部分组成。

4.1 激光器

激光器的各项参数,主要有激光波长、激光输出 功率、脉冲宽度和光斑直径等都影响着薄膜损伤阈 值大小,其中激光的波长和脉宽是两个影响激光损 伤阈值的重要因素^[11]。实验发现激光薄膜经 1064nm激光辐照后,薄膜的激光损伤阈值大幅度提 高。因此,在1064nm波长下准确测试薄膜损伤阈 值对于深入研究很有必要。在构建测试平台时,采 用泵浦光源为 Nd:YAG 激光器,波长为1064nm,脉 冲宽度为10ns,最大输出能量为200mJ。 4.2 衰减器

测试要求入射到测试样片上的能量有规律地变 化。因此选用程控可变衰减器。该衰器由控制器和 衰减器组成。程控器接收来自计算机的控制命令, 控制衰减片的旋转角度随着角度的变化,入射到被 测样片上的能量就会发生变化。

4.2.1 衰减机构

测试阈值需要调节照射光学元件的激光器能 量,故此,构建一激光衰减器。此衰减器结构原理图 如图2所示。



图 2 衰减器结构原理图

Fig. 2 diagram of attenuator structure

1. 衰减片 2. 带轮 3. 同步带 4. 步进电机

通过控制步进电机控制不同组衰减片的组合, 得到不同的激光能量。

4.2.2 衰减片

(1) 几何尺寸设计

衰减片设计有效通光孔径为 60 mm,厚度为 5 mm。

(2) 衰减片透过率及搭配使用设计

由于测试时需要调节照射被测薄膜表面的激光 能量,并能量变化均匀,即由最大能量均匀变为最小。 前衰减机构设计原则为不同透过率衰减片组合得到 不同透射能量。为达到均匀细分的目的,选用模拟退 火的优化算法优化出合理的衰减率分布。设计为一 8组,每组3片,10种,共16片衰减片,125种能量组 合。10种衰减片透过率分别设计为0.99,0.95,0.9, 0.8,0.75,0.6,0.55,0.35,0.3,0.25。计算不同衰减 片组合得到的能量与透过率曲线如图3所示。



由图 3 所示,通过调节透过率透射能量在分布 上较均匀,提高了测试损伤阈值的精确度。

4.3 散射探测

为满足散射法测试激光损失阈值的探测,激光 功率能量计选择北京物科光电技术有限公司的 1P -220 型功率能量计,响应时间为 0.4s,功率测量分 辨率为 10μW,保证了探测时间及精度要求。

4.4 CCD 探测器

图像法是本测试平台的重要测试方法,利用图像相似性判定方法,即依据激光辐照前后图像的灰度变化信息来判定材料是否发生损伤的,损伤越大,灰度范围越广,灰度峰值下降越多。CCD探测器由图像采集卡及 CCD 组成。平台测量的是脉冲激光器的聚焦光斑,激光透过光学系统辐照到被测样品表面直径为0.88 mm。考虑到本平台的测试方法,选用的 CCD 为敏通公司的 MTV – 1881EX,成像面尺寸为8 mm×6 mm。

4.5 样品夹持及调整机构

夹持架选用通用万向反射分光镜架,调整机构 选用两维电动平移台,控制样品高度和左右调节,以 满足多点测试需要。

- 5 测试实验及分析
- 5.1 测试样品制备

溶胶凝胶法制备二氧化硅薄膜。具体步骤为: 量取定量的正硅酸乙酯(TEOS),室温搅拌下加入适 量的乙醇、盐酸和水,反应15分钟后,加入定量的甲 基三乙氧基硅烷(MTES),室温搅拌6小时,陈化72 小时。以15r/min的旋转速度旋涂法在石英基底上 沉积成膜。之后分别300℃,8分钟;400℃,8分钟; 500℃,8分钟;600℃,8分钟退火处理。

5.2 激光损伤测试实验

不同温度、时间退火处理薄膜,多点不同激光能 量辐照薄膜表面激光损伤图像法测试图如图 4 所示。



500℃,8分钟

图 4 损伤表面测试图 Fig. 4 picture of damaged surface

表 1	L	测	试	结	果
		,			

Table. 1 the test fesuit				
退火热处理参数	损伤阈值测试值/(J・cm ⁻²)			
300℃,8分钟	18.60			
400℃,8分钟	20.46			
500℃,8分钟	25.44			
600℃,8分钟	15. 94			

经测试平台的实际测试可以看出,损伤阈值随 退火处理温度增加而增大,当500℃时,阈值最高; 600℃时,大幅下降。对比以前研究者的研究结 论^[12],测试结果相符。由此,此套测试平台能较好 测试光学薄膜的激光损伤的测试。

6 结 论

基于图像检测法,激光散射法两种薄膜损伤测 试方法,设计构建了测试平台。通过实测一溶胶凝 胶法制备的二氧化硅薄膜,对比以前研究者的研究 结论,可以看出,这一测试平台能很好的测试出薄膜 的激光损伤阈值,对于今后激光损伤研究提供了准 确测试的手段。

600℃,8分钟

参考文献:

 [1] Fan Zhengxiu, Wei Zhaoyang. Progress and development trends of optical coatings in high power laser[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2009,07:14 - 16. (in Chinese) 范正修,魏朝阳.高功率激光系统中光学薄膜的现状及发展趋势[J].激光与光电子学进展,2009,07:14-16.

- [2] Ni Xiaowu, LU Jiun, He Anzhi. Study of laser-induced plasma on dielectric thin-films [J]. Acta Optica Sinica, 1990,4(10):322-327. (in Chinese)
 倪晓武,陆健,贺安之.激光与介质薄膜作用过程的等 离子体诊断[J].光学学报,1990,4(10):322-327.
- [3] Liu Qiang, Lin Libin, Gan Rongbing, et al. Experiment study on the uniformity of damage threshold of oxide films
 [J]. High Power Laser & Particle Beams, 2003, 15(11): 1061 1064. (in Chinese)
 刘强,林理彬,甘荣兵,等. 光学膜层激光损伤阈值均 匀性的实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(11): 1061 1064.
- [4] Morgan A J, Rainer F, De MarCo F P, et al. Expanded damage test facilities at LLNL[J]. 1990:47 - 57.
- [5] Ni Xiaowu, Lu Jiun, He Anzhi. Study of laser-induced plasma on dielectric thin-films [J]. Acta Optica Sinica, 1990,10(4):322-327. (in Chinese)
 倪晓武,陆建,贺安之,等.激光与介质薄膜作用过程 的等离子体诊断[J].光学学报,1990,10(4): 322-327.
- [6] Su Junhong, Liang Haifeng, Xu Junqi. Evaluation criteria of laser-induced damage threshold based on light scattering[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2010, 30(3):325-328. (in Chinese) 苏俊宏,梁海锋,徐均琪. 激光损伤的光散射法判别研 究[J]. 真空科学与技术学报, 2010, 30(3):325-328.
- [7] He Hongbo, Hu Haiyang, Tang Zhiping. Laser-induced damage morphology of high-optical coatings [J]. Applied

Surface Science, 2005, 241:442 - 448.

- [8] Wang Naiyan, Gao Huailin. Study of the phenomena on kRf laser-induced coating damage by photo-acoustic method[J]. High Power Laser & Partcle Beams, 1995,7(2): 157-164. (in Chinese)
 王乃彦,高怀林. 用光声法测定光学膜的破坏阈值
 [J].强激光与粒子束, 1995, 7(2): 157-164.
- [9] He Changtao, Ma Zi, Chen Jianguo. The method of judging film damage based on image similarity[J]. Laser Journal, 2007,28(1):60-61. (in Chinese)
 何长涛,马孜,陈建国. 基于图像相似的薄膜激光损伤 识别[J].激光杂志,2007,28(1):60-61.
- [10] Xie Yaping, Sun Zhihong. Image processing in online inspection of damage in optics [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2006, 18(7):1085 - 1089. (in Chinese) 解亚平, 孙志红. 光学元件损伤在线检测中的图像处 理[J]. 强激光与离子束. 2006, 18(7):1085 - 1089.
- [11] Dai Gang, Lu Jian, Wang Bin, et al. Analysis and comparison of coating damage induced by laser at 1ms and 10ns pulse-widths[J]. Laser Technology, 2011, 35(4):477 480. (in Chinese) 戴呈, 陆建, 王斌,等. 脉宽 1ms 和 10ns 的激光损伤光

学薄膜元件的比较分析[J]. 激光技术,2011,35(4): 477-480.

[12] Wang Biyi, Zhang Xiaoguang, Yan Xiusheng. Research of laser damage of ZrO₂/SiO₂ Sol-Gel thin film[J]. Optical Technique, 2010, 36(2): 311 - 314. (in Chinese)
王毕艺,张晓光, 闫秀生. 溶胶 - 凝胶 ZrO₂/SiO₂ 薄膜 的激光损伤研究[J]. 光学技术, 2010, 36(2): 311 - 314.