

· 激光技术 ·

激光辐照下锗材料热形变的实验研究

王毕艺, 刘 鑫

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要: 红外光学系统的镜片组件在环境温度较高时会发生热形变, 特别是在局部温度过高时, 镜片的面形、厚度的变化会对成像质量有着不可忽视的影响。为了研究红外光学镜片的热形变, 利用波长为 $1.06\ \mu\text{m}$ 准连续激光辐照锗单晶平片, 实时监测锗材料在不同辐照时间下的形变及对成像质量的影响。所得实验数据可为镜片热形变的理论分析提供参考。

关键词: $1.06\ \mu\text{m}$ 激光; 热形变; 锗材料

中图分类号: O614.43

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-05-0020-03

Experiment Research on Germanium Material Thermal Deformation under Laser Irradiation

WANG Bi-yi, LIU Xin

(Key Laboratory of Electro-optical Information Control and Security Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: Thermal deformation will generate when lenses components in infrared optical system is in higher temperature environment. Especially over high temperature at local part, the surface shape and thickness of lenses will be changed and imaging quality will be influenced. For researching the thermal deformation of infrared optical lenses, quasi continuous laser with $1.06\ \mu\text{m}$ wavelength is used to irradiate Germanium wafer to detect Germanium material deformation at different irradiation duration in real time. And the influence on imaging quality is researched. Obtained experimental data can provide references for lenses thermal deformation theoretical analysis.

Key words: $1.06\ \mu\text{m}$ laser; thermal distortion; Germanium material

锗材料对红外波段有良好的透过率, 且具有折射率高、色散小、光学常数好、可加工性好等优点, 因此广泛用作各类红外光学系统的透镜材料及窗口材料。然而, 在实际应用中, 光学系统透镜一般处于变化的环境温度中, 温度的变化会导致光学透镜发生热变形, 严重时会影响光学系统成像的质量, 因此有必要对锗材料在不同温度下的热形变进行深入分析^[1-5]。文中利用激光局部加热锗平片使其产生热变形, 采用高速 CCD 以及分辨率板对锗平片的形变以及镜面成像质量进行实时监测, 从实验角度来定性确定锗材料形变与成像质量之间的关系。最后简要介绍了一个精确测量材料形变量

的一种方法。

1 实验系统

激光辐照锗材料热形变的实验系统如图 1 所示。图 1 中激光器为波长 $1.06\ \mu\text{m}$, 脉冲半宽度约 $200\ \mu\text{s}$ 的准连续激光, 激光经分束镜后进入功率计以实时监测激光能量, 光闸用于控制激光作用时间, 激光通过透镜到达实验样品的表面, 实验样品为 $\Phi 50\ \text{mm}$, $d 4\ \text{mm}$ 的锗平片。高速 CCD 用于实时检测样品的表面形变, 热像仪用于实时监测材料表面温升; 成像 CCD 分析实时检测经样品反射后的分

收稿日期: 2014-10-13

作者简介: 王毕艺 (1983-), 男, 湖南湘潭人, 硕士研究生, 主要从事激光与物质相互作用研究; 刘鑫, 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事激光防护材料特性研究。

分辨率板的镜面成像。实验最后采用 ARAMIS 光学测量变形系统定量分析激光辐照下的锆平片背面热形变。

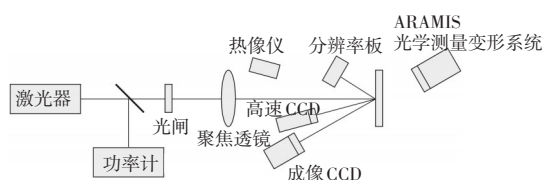


图1 实验装置

2 实验结果及分析

实验开始时,热像仪、高速 CCD,成像 CCD 同时开启采集。调节激光器的输出功率为一定值,不同辐照时间下,热像仪采集的锆材料的温度云图如图 2 所示(温度云图采用热像仪进行采集)。

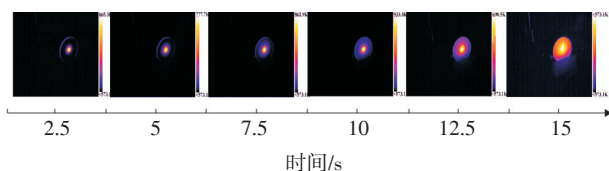


图2 不同时刻下锆材料温升云图

从图 2 中可以看出,在激光辐照中心区域,材料温升最高,而周边温度相对较低,随着时间的延长,温度逐渐向边沿扩散,材料整体温升较明显(由于锆材料的发射率未知,因此无法精确测量锆材料的准确温度,只能测量出温度分布云图)。

采用高速摄影机对材料的毁伤过程进行全程摄影,不同时刻输出结果如图 3 所示。

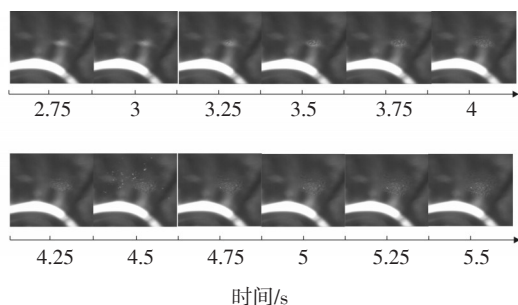


图3 锆材料形变的高速摄影

在激光辐照下,锆材料约在 3 s 后开始发生破坏,此后,随着辐照时间的延长,破坏区域扩大,锆材料毁伤明显。

由于高能激光辐照,锆材料吸收激光能量引起材料表面发生热变形,导致锆透镜成像质量发生扭曲。为了直观地观察锆材料的热形变,采用镜面成像原理,将分辨率板置于锆平片的一侧,另一侧采用 CCD 实时采集分辨率板的镜面成像,镜面成像变化随激光辐照时间的关系如图 4 所示。

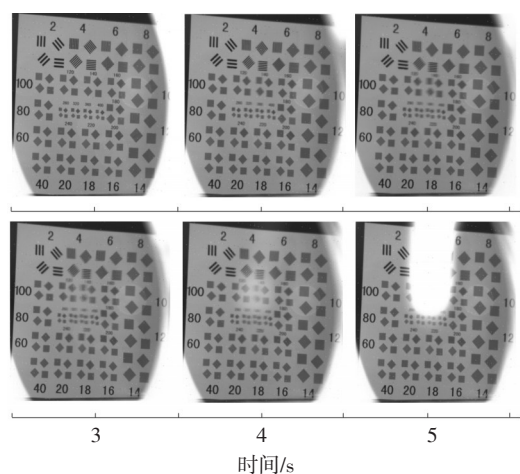


图4 锆材料的镜面成像

从图 4 中可以看出,在未受激光辐照时,分辨率板(目标)经锆材料的镜面成像非常清晰,锆材料未发生形变;随着激光的加载,锆材料产生热变形,造成镜面成像逐渐变形,模糊,在辐照 3 s 时,成像已模糊不清且严重变形;随着辐照时间进一步延长,锆材料表面发生损伤,辐照区域出现激光烧蚀坑,已无法形成正常的镜面成像(出现亮斑是由于激光烧蚀,引起材料发光发热,对 CCD 采集造成干扰)^[6-9]。

3 ARAMIS 光学测量变形系统

ARAMIS 系统的原理是将物体表面喷涂成黑白相间的散斑图样,然后利用两个高分辨率的高速相机采集动态物体变形的图片,即时输入到电脑里面。数据采集完后,在软件里进行计算,从而精准的得到整个外表面的变形数据。最后输出多种变形的结果及报告模式。

与其他技术不同,ARAMIS 是一个可以整体地分析从几毫米小物体到几十米大物体的成熟的解决方案,它不需要因试样几何形状和测试温度的不同而浪费时间准备试样,可随时进行测量。其主要特点是:非接触式测量;不受材料种类的限制;不受被测物体形状的限制;可进行二维与三维的测量;

可移动性和灵活性;全局性测量,测量精度高;可进行1 500 ℃以内测量,并可进行高速测量;测量的变形值从0.01%到几个100%。

图5为ARAMIS采集的锆材料在激光作用下的热形变结果。其中,图5a为ARAMIS采集的锆材料散斑图样,从图中可以看出,在激光辐照中心,锆材料的热形变最大,其变形量可达到0.24%;图5b为锆材料沿直径方向的形变曲线,从图中也可以看出,在激光辐照中心,锆材料的形变量最大^[10-11]。

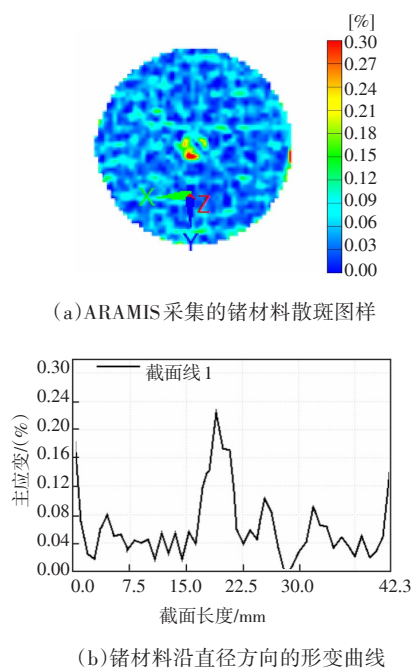


图5 ARAMIS采集的锆材料的形变

4 结论

文中利用1.06 μm激光局部加热锆平片使其产

生热变形,采用高速CCD以及分辨率板对锆平片的形变以及镜面成像质量进行实时监测,从实验角度来定性确定锆材料形变与成像质量之间的关系,所得实验数据可为锆透镜热形变的理论分析提供参考。文中介绍的实验装置为精确测量材料形变量提供了一种工程测试手段。

参考文献

- [1] 吴绪礼. 锆及其冶金[M]. 北京:冶金工业出版社, 1988: 109-113.
- [2] 龚辉,王明利,李成富,等. 硅、锆片的激光损伤及加固研究[J]. 光学学报, 1998, 18(6):677-681.
- [3] 袁永华,刘颂豪,孙承伟,等. 激光辐照硅、锆材料形成表面波纹的实验研究[J]. 中国激光, 2004, 31(3):273-276.
- [4] 平修二. 热应力与热疲劳[M]. 北京:国防工业出版社, 1984:28.
- [5] 赵建君,宋春荣,刘进. 重复脉冲激光辐照光学材料的热力效应[J]. 光子学报, 2006, 35(12):1856-1860.
- [6] 夏晋军,龚辉,程雷,等. 光学材料连续波激光热—力破坏效应[J]. 光学学报, 1997, 17(1):20-23.
- [7] 牛燕雄,姜楠,张书练,等. 波段外脉冲激光对锆透镜热冲击效应的数值与实验研究[J]. 光子学报, 2009, 38(6):1375-1379.
- [8] 赵元安,王涛,张东平,等. 脉冲激光辐照光学薄膜的缺陷损伤模型[J]. 光子学报, 2005, 34(9):1372-1375.
- [9] 赵建君,宋春荣,刘进,等. 重复脉冲激光辐照光学材料的热力效应[J]. 光子学报, 2006, 35(12):1856-1860.
- [10] 杜少军,陆启生,舒柏宏,等. 激光辐照下铝膜反射镜升温 and 热应力的计算[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(2): 128-133.
- [11] 陈发良. 强激光辐照下窗口材料靶传热及热应力破裂的解析分析[J]. 强激光与粒子束, 1996, 8(4):595-601.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊,并加入中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。