

激光材料的杂质检测系统*

何慧娟 李永春 钱林兴 顾圣如 赵隆兴

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 报道一台检测激光玻璃中白金颗粒的系统。它是一台由计算机控制的扫描系统,被检测材料尺寸为 $600\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 40\text{ mm}$,扫描范围为 $600\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,激光能量密度大于 20 J/cm^2 ,已成功地检测出白金颗粒,小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的白金颗粒也可测到。

关键词 高功率激光,激光束扫描,等离子体发射

1 引 言

用于核聚变的高功率激光装置中,有大量激光磷玻璃元件,如棒状和片状等。在激光装置运转时,这些元件要经受大于 1 GW/cm^2 功率密度的照射。通常,磷酸盐玻璃在白金坩锅中熔炼,易在玻璃中留下白金颗粒^[1]。在高功率密度激光照射下,在这种玻璃中会出现由白金颗粒导致的破坏点,使高功率激光装置不能正常运转。为了研究除铂工艺,首先要解决检测技术,要准确地辨认白金颗粒产生的破坏点及其在大块玻璃元件中的座标位置。本文报道一台白金颗粒的检测系统。它是用高重复率 Nd·YAG 激光器产生的 1064 nm 激光照射置于 X-Y 工作台上的激光玻璃材料,使白金颗粒产生气化爆炸,用光电系统记录和识别,以获得白金颗粒存在的信号和位置座标。

2 测量原理

用高重复率高功率 Nd·YAG 激光器产生的 1064 nm 激光照射光学玻璃,白金颗粒被照射的激光束加温到超过其沸点而气化,所以其破坏阈值相当于白金颗粒发生气化的激光功率密度。对于磷酸盐玻璃,激光功率密度大于 $4\sim 5\text{ J/cm}^2$ 。白金颗粒的尺寸大致在 $5\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 范围内。其平均尺寸大部分处于 $10\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 。白金颗粒气化爆炸时产生等离子体发光,根据其发射光谱,选择光阴极为 CsSb 的光电倍增管作探测器,得到白金颗粒存在的信息。为了适合大尺寸玻璃材料的测量,用计算机软件实行全机控制。使激光脉冲、放置光学玻璃的 X-Y 工作台和信息采集同步运作,从而给出玻璃材料中白金颗粒的二维分布图。

测量系统由 5 部分组成:激光器件,光路,光电检测, X-Y 工作平台及其电控、计算机硬件和软件。方框图示于图 1。

* 863-416 资助项目。

收稿日期: 1999-05-06; 收到修改稿日期: 1999-09-21

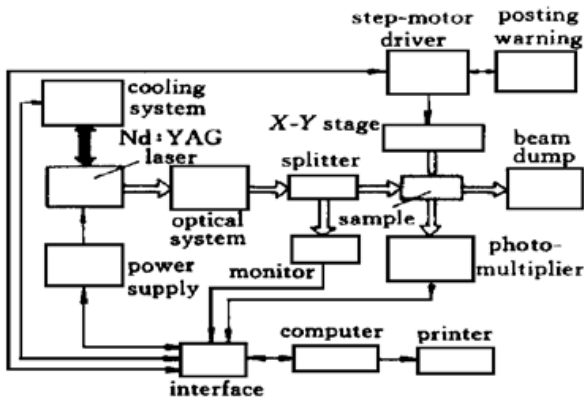


图 1 扫描检测系统方框图

Fig. 1 Scheme of scanning inspection system

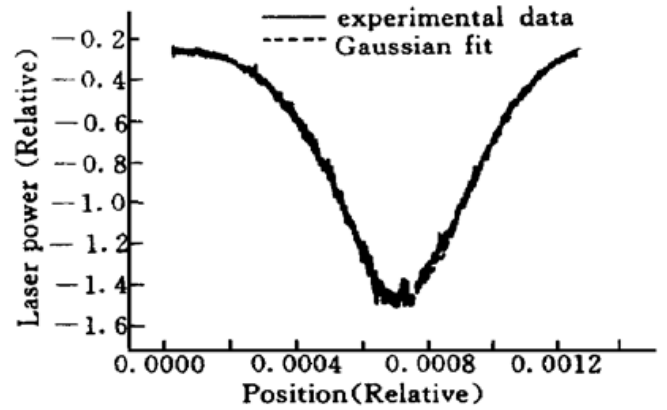


图 2 激光束强度分布图

Fig. 2 Intensity profile of laser beam

激光器由一级振荡器和二级放大器组成,激光介质是 Nd·YAG 晶体棒。振荡器采用非稳定谐振腔和 KD*P 晶体调 Q。供电采用开关电路和光电隔离技术,消除对计算机的干扰。使用三路六灯作为激光器的抽运光源。其输出能量可大于 800 mJ;脉冲宽度为 10 ns;重复率为 1, 2, 5, 10 Hz, 输出脉冲的强度分布近高斯型,图 2 是用 CCD 测量的激光束强度分布图,其中实线为实验曲线,点线为计算机高斯拟合曲线。

He-Ne 激光与 1064 nm 主激光脉冲准直共线地入射到测试样品上,以指示样品位置。1064 nm 经分束器分成两路,一路入射到样品上,另一路作为监控信号,经光二极管监测激光器故障和控制步进电机趋动 X-Y 工作台。主光束经过测试样品后,剩余的激光束仍然很强,为克服光干扰,在玻璃样品后面放置一个光束倒空器,它良好地吸收剩余激光,并抑制对整个检测系统的光干扰。

3 测试结果

该检测系统安装在一个 1000 级超净实验室中,以防止玻璃元件表面灰尘被激光照射时出现的破坏。目前,该系统的激光能量密度大于 20 J/cm²,光斑不小于 1 mm,对几种激光玻璃进行了检测,白金颗粒气化爆炸的激光阈值在 4~ 8 J/cm² 之间。白金颗粒气化后在玻璃中产生的破坏点,用读数显微镜进行观测,其尺寸大体上处于 10~ 100 μm,小于 10 μm 的也有。

图 3 为该检测系统的测量结果。所用激光玻璃在熔炼时未采用除铂工艺,为图示清晰,玻璃元件的扫描范围只取 50 mm×50 mm。横座标为 x,纵座标为 y。图中的黑点就是白金颗粒气化后的破坏点。从图上可见,该玻璃中白金颗粒很多。本测试系统用计算机同步控制 X-Y 工作台的移动和激光束的发射,并且实时同步记录激光照射在玻璃上的位置座标和

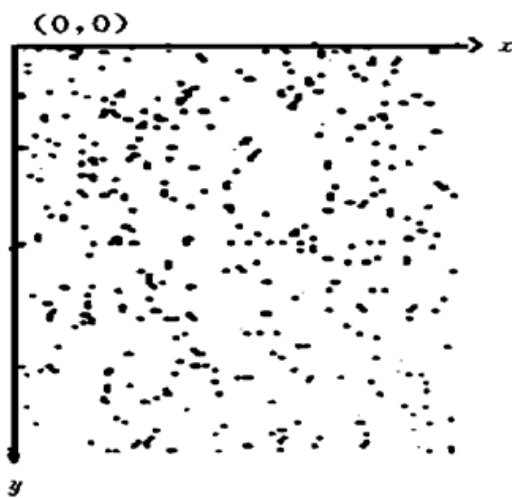


图 3 激光磷玻璃中白金颗粒分布图

扫描范围: 50 mm×50 mm

x 方向单位长度: 16.6 mm; y 方向单位长度: 25 mm

Fig. 3 Distribution of Pt in phosphate glass

Scanning region: 50 mm×50 mm;

x: 16.6 mm/div; y: 25 mm/div

等离子体发光信号,最后给出玻璃中白金颗粒的 (x, y) 坐标。由于照射的激光束光斑尺寸是 1 mm, 所以, 在 1 mm 内的全部白金颗粒只作一个记数, 测量精度为 1 mm。通常被测玻璃都是经过除铂工艺生长的, 白金颗粒已大量减少, 所以 1 mm 的测量精度已足够。

4 其他应用

4.1 测量激光高反膜的破坏阈值

破坏阈值是高功率激光薄膜最重要的性能参数, 准确地测量光学薄膜的破坏阈值, 不仅对评价和改进薄膜性能有重要作用, 而且是安全操作激光器的重要依据。为此我们用已研制成功的测量系统对 1064 nm 高反射率膜进行了测量。在不同脉冲能量值时, 激光在膜板上依次照射 5 个点, 给出其破坏概率, 结果示于图 4, 破坏阈值能量为 50 mJ。用类尖劈法测量, 可以得到能量密度与光斑宽度的关系, 从而得出 $1/e^2$ 处的宽度, 激光器的脉冲宽度为 10 ns, 激光能量为 130 mJ, 其能量密度破坏阈值为 52 J/cm^2 。

4.2 用激光预处理技术提高反射膜的破坏阈值

激光预处理是提高薄膜破坏阈值的重要手段, 相当于用高功率密度的激光对薄膜进行表面处理。

把高反膜置于 $X-Y$ 工作台上, 由计算机控制高反膜在 x 和 y 方向按指定范围移动, 激光能量经透镜聚焦后照射高反膜面。能量由低逐渐提高, 最高能量密度为 12 J/cm^2 , 共分 5 档, 也即照射 5 次, 经检测可见处理表面均匀。然后, 用聚焦激光束分别照射激光处理区和未处理区, 求出激光破坏阈值的比值。在每一能量值时, 在膜面上打 5 个点, 测出破坏概率为 20% 时的破坏能量。

设 E_{pro} 为经激光预处理区域中的激光破坏能量值, E_{npro} 为未经激光处理区域中的激光破坏能量值, E_0 为激光能量, T 为衰减片的透过率

$$E_{\text{pro}}/E_{\text{npro}} = T_1 E_0 / T_2 E_0 = T_1 / T_2$$

其中 $T_1 = 0.62$, $T_2 = 0.39$, 所以

$$E_{\text{pro}}/E_{\text{npro}} = 1.6$$

可见, 经激光预处理后的激光高反膜的破坏阈值得到了 1.6 倍的提高。如果适当改变激光能量密度, 预计会得到更好的结果。

5 结 论

已研制成功一台计算机控制的智能化扫描检测系统。该系统具有高激光能量密度、大尺寸扫描范围。长时间连续运转和监控防护报警等特点。已成功地用于研究热核聚变的激光装置中的磷酸盐玻璃, 对其所含杂质(白金颗粒)进行了检测。此外还用该装置成功地测量了激光薄膜的破坏阈值, 用激光预处理技术提高激光高反膜的破坏阈值 1.6 倍。

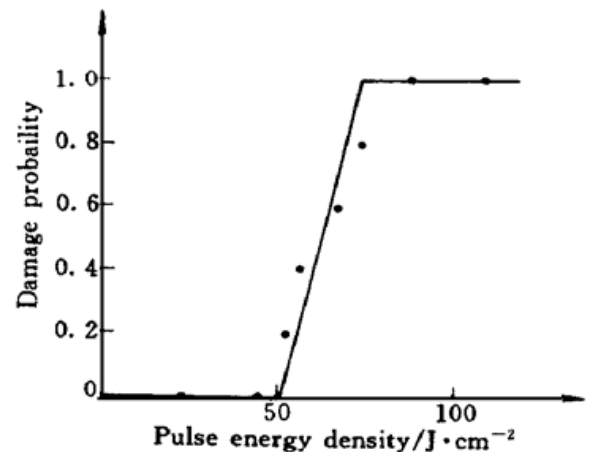


图 4 破坏概率随激光能量密度的变化

Fig. 4 Damage probability as function of laser energy density

致谢 对本所镀膜室范正修研究员提供的薄膜和有益讨论表示感谢。

参 考 文 献

- 1 I. E. Marion, G. I. Gremer, J. H. Campbell. A Versatile Laser Glass Inspection and Damage Testing Facility. Proceedings of the Boulder Damage Conference. Boulder. Colorado. October, 1985

Detecting System of Inclusions in Laser Materials

He Huijuan Li Yongchun Qian Linxing Gu Shenru Zhao Longxing
anghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The detecting system of platinum inclusions in laser glass is reported. It is a scanning system controlled by a computer. The testing sample sizes: $600\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 40\text{ mm}$. The scanning region: $600\text{ mm} \times 300\text{ mm}$. Laser fluence is more than 20 J/cm^2 . The platinum inclusions are tested successfully. The sizes of platinum inclusions is less than $10\text{ }\mu\text{m}$ can be tested.

Key words high power laser, laser beam scan, plasma emission