

激光核聚变靶表面几何参数扫描探针测量技术

孙涛^{1,2}, 高党忠¹, 唐永建¹, 傅依备¹, 董申²

(1. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;

2. 哈尔滨工业大学 精密工程研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:应用改造的原子力显微镜(AFM)作为传感系统,配合精密回转气浮轴系和三维微定位装置,实现了对激光核聚变靶球圆周方位形状误差的精密测量。采用该测量技术获得的靶球表面几何参数的测量数据及分析结果可为制靶工艺提供检测手段,并为激光打靶实验提供准确的靶球表面形貌参数。

关键词:聚变靶;原子力显微镜;精密测量

中图分类号:TL503.4

文献标识码:A

文章编号:1000-6931(2002)04/05-0361-03

Measurement Technology of the Surface Characteristic of the Inertial Confinement Fusion Targets With Scanning Probe Microscope

SUN Tao^{1,2}, GAO Dang-zhong¹, TANG Yong-jian¹, FU Yi-bei¹, DONG Shen²

(1. Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;

2. Research Institute of Precision Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The paper presents a measurement system which uses reformed atomic force microscope(AFM) as sensor, combined with precision rotating air bearing and 3-D micro-positioning device. The precision measurement on shape error of the inertial confinement fusion (ICF) target's circle is carried out. The results show that this method can be applied in the technology of ICF target making and can provide the accurate data of target's surface profile for experiments of ICF target practice.

Key words: inertial confinement fusion targets; atomic force microscope; precision measurement

在激光核聚变中,靶球表面粗糙度等微观尺度参数影响瑞利-泰勒不稳定性,精密测试这些微观参量可改进制靶工艺和为激光打靶实验提供精密靶参数。早期大多采用各类干涉显微

镜进行靶的离线测量,如采用 Leitz 干涉显微镜、TM-50 显微镜等。80 年代,美国劳伦斯·利弗莫尔实验室(LLNL)研制了一台改进型干涉显微镜与计算机控制系统结合的 TOPO II 装

收稿日期:2001-08-25;修回日期:2001-09-24

作者简介:孙涛(1964—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,副研究员,中国工程物理研究院核科学与技术博士后,纳米加工与测量专业

置,它可测量玻璃微球每一位置处的壁厚和不同心度,其主要形面的表面粗糙度仍只能用干涉显微镜来观测^[1]。1990年前后,随着原子力显微镜(AFM)的出现,国外开始用它观察靶球表面,但因这种 AFM 只能测量很小的扫描面积,后来,LLNL 又开发了 AFM 配合旋转的精密轴系装置来实现靶球的表面测量^[2,3]。

目前,国内已将靶球检测技术作为制靶技术的重要方面进行了一系列靶球内外表面粗糙度等几何参数的测量研究,提出了扫描电子显微镜(SEM)法、X 射线法以及利用 AFM 等测量靶球表面粗糙度的方法^[4~6],后来又开发利用 4π 搓动装置进行靶球整体形貌的旋转检测,有利地推动了靶球的研制工作^[6,7]。由于国外对测量方法与技术保密,对相关测量设备封锁,又由于靶球尺寸微小,靶壳脆弱,装夹和定位困难,检测精度要求又较高,因此,国内目前尚不能进行靶球整体圆周轮廓测量,不能从靶球整体上研究靶球的制造工艺,限制了我国制靶技术的发展。检测问题已成为国内迄今为止尚未解决的一技术难题。本工作将扫描探针显微技术作为基本手段来研究靶球表面几何参数的检测技术,以期解决这一难题。

1 靶球表面形貌测量系统

本测量系统由经过改造的 AFM、精密回转气浮轴系、吸附装置、信号采集与控制系统、主控计算机及其软件数据处理和显示系统及双向微位移定位平台系统等组成。其中,主轴系统的组成部件包括二维柔性定位系统、吸附装置、倾斜工作台、主轴轴系、基座、控制电机、测角元件等。回转轴系的回转精度可达到 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

测量系统构成示于图 1。

2 靶球表面几何参数测量

2.1 测量原理

为将靶球表面精度与靶球性能联系起来,必须从靶球整体球面谐波中获取乘方谱来对靶球表面进行描述。当主轴系统精密旋转时,与被测靶球有原子力接触的 AFM 探针获取表面高度信号,计算机采集主轴角度信号,同时采集 AFM 的低压测头高度信号,二者合成后进行数据处理。测控系统框图示于图 2。

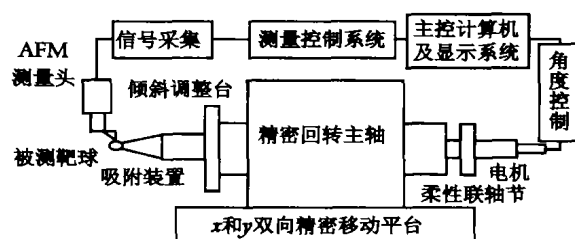


图 1 靶球表面形貌测量系统

Fig. 1 Measuring system of target's surface profile

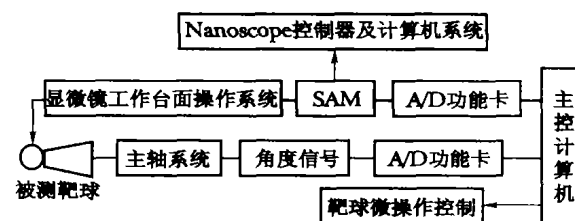


图 2 测控系统框图

Fig. 2 Block diagram

of measuring and control system

将被检测靶球安放在真空吸盘上,调心后启动主轴电机,靶球跟随主轴一起旋转,AFM 探针针尖接触被测靶球,此时,原子力的扫描范围控制为零,针尖所测即为主轴旋转角度所对应的高度信号。主轴的典型转速为 $1\ \text{r/min}$,原子力针尖的传感信号通过显微镜系统的输出接口(SAM 单元)并通过高精度 A/D 转换卡输入该计算机,由计算机计算出各种表面参数。

2.2 测量步骤

为了获取靶球整体圆周参数,需对靶球进行互相垂直的 3 组迹线的转换测试。为此,增加了辅助轴,以利于转换。转换顺序如下:气浮轴系旋转,测量第一组迹线;将气浮轴系所持的靶球移至辅助轴系,辅助轴系吸合;辅助轴系转动 90° ;气浮轴系吸合,测量第二组迹线;第二组迹线测完后,主轴轴系转位 90° ;辅助轴系吸合;辅助轴系转位 90° ;主轴轴系吸合并进行第三组迹线的测量。

3 数据分析与结论

3.1 回转精度分析及其对测量结果的影响

气浮主轴的回转精度是影响靶球圆周轮廓

测量的主要因素。通过测试,主轴的径向回转精度小于 $0.08\ \mu\text{m}$,可以满足靶球圆度测试精度 $0.1\ \mu\text{m}$ 的要求。由于主轴圆度误差的频带远低于靶球表面粗糙度的频带,因此,可以从 AFM 测头的测量信号中将粗糙度信号分离出来,这样,可同时满足靶球圆周表面粗糙度的测量要求。

3.2 靶球表面状态曲线分析

靶球表面状态测量结果示于图 3。这是利用显微镜本身的计算系统得到的圆周测量曲线。

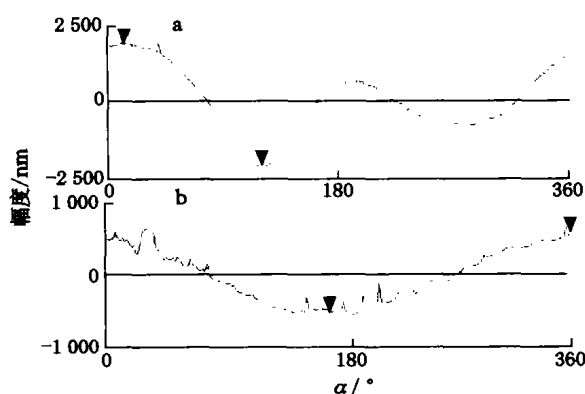


图 3 靶球圆周测量曲线

Fig.3 Measured curves of the circumference for the micro-sphere

a—— $\phi 0.8\ \text{mm}$ 塑料靶球; b—— $\phi 0.3\ \text{mm}$ 玻璃靶球

测量所选塑料靶球较大,存在一定的椭球度,并与安装偏心一起在一个测量圆周上形成了两个基波。其中,安装偏心可以消除,因而可得到椭球度数值。

测量所选玻璃靶球的球形度较好,因而,只存在安装偏心。所以,在一个测量圆周内只有一个基波。

根据圆周测量曲线,可利用专用计算程序

计算得到靶球表面的功率谱密度曲线,并对靶球制造工艺水平做出评价。

3.3 结论

应用改造的 AFM 作为传感系统,配合精密回转气浮轴系和三维微定位装置实现了对激光靶球的高精度测量。这一技术的应用可望解决国内长期未解决的靶球表面粗糙度以及球形度的高精度测量问题,这有助于提高制靶工艺水平,并为激光靶的理论设计和激光打靶实验获得预期效果提供重要的实验数据。此外,通过更换显微镜探针,还为靶球改性处理提供可能。

参考文献:

- [1] 蒋伟阳,唐永建,王明达,等.激光靶测量图像的在线处理与应用[J].强激光与粒子束,1994,6(2):201~206.
- [2] Cook R. Production and Characterization of Doped Mandrels for Inertial Confinement Fusion Experiment[J]. J Vac Sci Technol, 1994, A12: 1 275~1 279.
- [3] Overturf III GE, Buckley SR, Cook RC. Synthesis and Characterization of Iodinated Polystyrene: DE93005734[R]. USA: LLNL, 1992.
- [4] 王明达,高党忠,刘元琼,等.扫描电子显微镜测量靶丸表面形貌[J].原子能科学技术,1999,33(4):290~293.
- [5] 刘元琼,罗青,王明达.X射线法测量 ICF 靶丸参数中表面轮廓法的应用[J].强激光与粒子束,2000,12(1):69~71.
- [6] 高党忠,王明达,刘元琼.用原子力显微镜 4π 旋转技术测量靶丸表面粗糙度[J].强激光与粒子束,1999,11(3):321~324.
- [7] 魏赛珍,毛祖遂,王明达,等.靶球 4π 搓动微型装置的研制[J].浙江大学学报,1997,31(4):409~414.