

阻抗匹配靶制备及靶参数精密测量

叶君建^{1,2}, 周斌², 何钜华¹, 傅思祖¹, 黄秀光¹

(1. 上海激光等离子体研究所, 上海 201800;

2. 同济大学波耳固体物理研究所, 上海 200092)

摘要:通过精密轧机轧制 Al、Cu、Au 等高纯金属箔片, 采用精密微装配技术获得应用于激光状态方程实验所需的阻抗匹配靶。运用台阶仪和白光干涉仪分别对阻抗匹配靶进行靶参数精密测量。在“神光 II”上进行阻抗匹配的实验打靶, 获得了相关靶型的实验图像。

关键词:轧制; 阻抗匹配靶; 靶参数

中图分类号: TL62

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2008)09-0825-04

Fabrication and Measurement of Impedance Match Target

YE Jun-jian^{1,2}, ZHOU Bin², HE Ju-hua¹, FU Si-zu¹, HUANG Xiu-guang¹

(1. *Shanghai Institute of Laser and Plasma, Shanghai 201800, China;*

2. *Pohl Institute of Solid State Physics, Tongji University, Shanghai 200092, China*)

Abstract: The Al, Cu and Au thin foils were rolled with the precision rolling mill, and the rolled metal foils were fabricated as impedance match targets used in the laser equation of state experiments by the assembly. The target parameters were measured by α -step500 and NT1100. The fabricated impedance match targets were used in ‘SG II’. Good images were obtained in experiment.

Key words: rolling; impedance match target; target parameter

阻抗匹配法是激光状态方程实验中最常用的测量方法^[1-4]。这一方法是以某种状态方程已知的材料作为标准, 与待测材料组成阻抗匹配靶型, 在实验中同时测量标准材料和待测材料中的冲击波速度, 通过比对的方法获得待测材料的冲击压缩线。

根据激光器的条件和激光状态方程实验的内容, 阻抗匹配靶厚度和材料的不同, 制靶工艺相应有所区别。主要制靶方法分为物理气相沉

积、精密车削加工、精密轧制压延等^[5-7]。物理气相沉积法是靶材受到高速电子或离子轰击而发射出粒子, 粒子被输运到基片, 并在基片上凝结、成核、生长成箔膜。此法制作的靶横向控制准确, 制靶效率高, 且可沉积多种材料, 但靶的密度一般只能达到晶体理论密度的 80%~90%, 且密度分布在厚度方向上不均匀, 并难以制备厚度在 μm 以上的靶。精密车削加工法是将毛坯原材料进行车削加工而获得所需的靶。

收稿日期: 2007-11-01; 修回日期: 2008-04-21

基金项目: 国家“863”计划资助项目

作者简介: 叶君建(1979—), 男, 浙江衢州人, 助理研究员, 在职硕士研究生, 材料物理与化学专业

该类型靶在相对尺寸控制上极为精确,箔膜表面质量好,厚度均匀性高,但金属靶材通常用粘合剂粘接在夹具上,粘合剂的不均匀性将对靶的厚度产生误差,且不能通过车削制备出薄靶,一般极难获得 $20\ \mu\text{m}$ 以下的薄靶,且需具有极高加工精度的金刚石单点车床,设备昂贵。精密轧制压延法是在靶材施加适当的压力和拉力以及利用靶材的延展性和塑性变形而获得所需厚度的靶箔。采用这种加工方法制得的靶箔密度高,表面质量较好,加工方法简单,但厚度一致性相对较差,且装配界面连接不甚牢固。

1 阻抗匹配靶制备

阻抗匹配法是一相对测量方法,通常是两种不同的金属材料连接到其中的标准材料的基底上。采用阻抗匹配靶可实验测定材料的冲击波速度和粒子速度,并可通过反阻抗匹配靶实验验证结果的置信度。为获得高精度的实验结果,实验对阻抗匹配靶的制备提出如下参数和精度要求:厚度误差,基底,不大于 $\pm 2\ \mu\text{m}$;台阶,不大于 $\pm 1\ \mu\text{m}$;面粗糙度, $R_q \leq 50\ \text{nm}$;面上峰谷极差,不大于 $200\ \text{nm}$;阻抗匹配靶的有效区域, $L \approx 200\ \mu\text{m}$, $H = 100 \sim 140\ \mu\text{m}$;密度为晶体理论密度。

1.1 金属箔片的制备

状态方程实验对材料密度和纯度要求较高,密度不能达到晶体理论密度、密度分布不均匀或材料不纯,均会给实验结果带来误差。为减小实验误差,轧制金属箔片时,需使用高纯、延展性好的金属材料,并使用精密轧机轧制实验所需厚度的靶箔。在真空退火炉中,将轧制好的金属箔片经 $250\ ^\circ\text{C}$ 、 $2\ \text{h}$ 的真空退火,以使金属箔片软化,减少金属箔片的应力,这有助于阻抗匹配靶的装配和减小靶的变形。

1.2 阻抗匹配靶装配

从经退火的金属箔片中筛选厚度符合要求的金属箔片,展平后,在操作显微镜下通过精密装配工艺将台阶连接起来,控制台阶相互的槽宽,以制备成各种材料和厚度的阻抗匹配靶。

2 阻抗匹配靶测量

2.1 台阶仪测量

使用 α -step500 台阶仪测量靶参数,包括

台阶高度、粗糙度、极差、台阶槽宽等。 α -step500 台阶仪使用探针接触式测量,且为线测量,测量数据图像示于图 1。通过分析可得:铝铜阻抗匹配靶的铜台阶高度为 $7.78\ \mu\text{m}$,粗糙度 R_q 为 $45\ \text{nm}$,极差为 $317\ \text{nm}$;铝台阶高度为 $11.76\ \mu\text{m}$,粗糙度 R_q 为 $46\ \text{nm}$,极差为 $300\ \text{nm}$ (台阶测量范围为 $200\ \mu\text{m}$);铝铜台阶间的槽宽为 $140\ \mu\text{m}$ 。

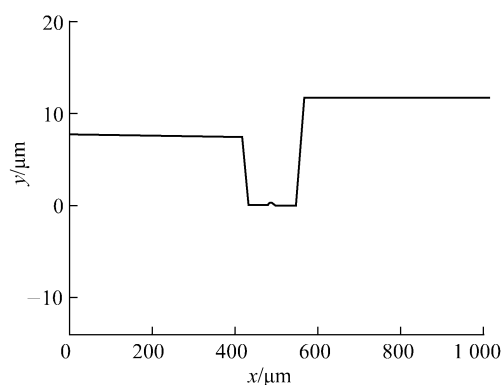


图 1 铝铜阻抗匹配靶的台阶仪测量图像

Fig. 1 Pattern of Al-Cu impedance match target measured with α -step500

2.2 白光干涉仪测量

NT1100 白光干涉仪是一非接触式三维测量仪器,使用该仪器对靶参数进行测量。

根据状态方程打靶实验的特点,实验打靶过程中取长度约为 $700\ \mu\text{m}$ 、宽度为几 μm 的区域。为使靶的测量数据与实验打靶区域一一对应,运用 NT1100 白光干涉仪测量靶的整个表面轮廓三维图像。在软件分析过程中,以同一台阶边缘与盖片小孔相交点为基准,沿台阶边缘向上移动一定的距离,获取该区域的数据。在实验打靶时,按照此标记瞄靶。

采用 NT1100 白光干涉仪能对阻抗匹配靶进行无损测量。一般需对靶进行两次测量。当靶在玻璃板装配成型时,进行第 1 次测量,当将靶整体转移到盖片全部成型实验打靶前进行第 2 次测量。将两次测量数据进行比较。编号为 Al-Cu-01-51 铝铜阻抗匹配靶两次测量图像示于图 2,经软件分析后的靶参数列于表 1。比较两次测量的结果可知,装配时和打靶前测得的参数值变化很小,处在测量误差范围内,说明靶的质量好,精度高。

2.3 靶端面测量

使用树脂将铝金阻抗匹配靶制备成圆柱形金相样品,经粗磨、细磨、粗抛、精抛等加工工艺,加工出质量较好的端面,分别采用光学显微镜和扫描电子显微镜测量靶端面靶箔连接情况,测量结果示于图3。光学显微镜放大100倍,从图3a可看到靶整体在盖片中的位置,靶整体平直,未发生整体变形。在扫描电子显微镜下测量(图3b),铝金台阶较紧密地连接到铝基底上,界面清晰可分,说明台阶和基底连接较好。

3 打靶实验

将成型的阻抗匹配靶运用到“SG II”上进

行激光状态方程实验,获得的打靶实验图像示于图4。激光从基底进入靶后,再穿过台阶产生信号进入接收系统。通过实验图像的数据处理和靶参数的相关数据计算出实验待测材料的冲击波速度、压强等参数。这些铝基底、铝台阶和金台阶的信号清晰且平整,计算出的实验数据精度高、误差小,同时也反映出靶制备的质量和精度较高。

4 分析和讨论

现阶段为能制备高精度的阻抗匹配靶,主要利用金属箔分子的范德华力。因材料的种类、厚度及表面性状对金属靶的力学性能影响较大,选用延展性好、材质较软的铝、铜、金等既

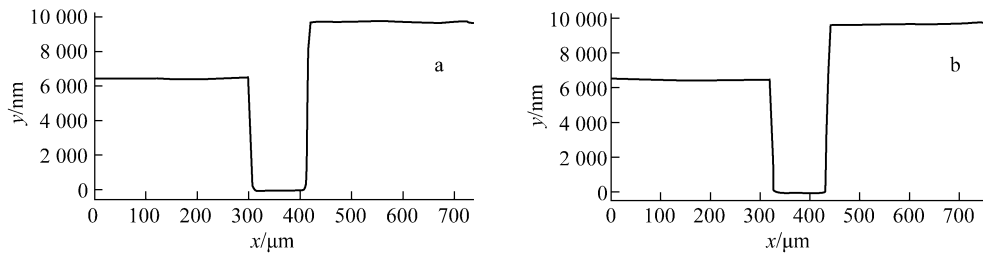


图2 铝铜阻抗匹配靶白光干涉仪的测量图像

Fig. 2 Patterns of Al-Cu impedance match target measured with NT1100

a——装配时;b——打靶前

表1 铝铜阻抗匹配靶白光干涉仪的测量数据

Table 1 Data of Al-Cu impedance match target measured with NT1100

测量操作	台阶高度/ μm		粗糙度 R_q/nm		极差/ nm		槽宽/ μm
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	
装配时	6.40	9.67	40	26	167	118	123.4
打靶前	6.43	9.62	36	29	126	108	123.4

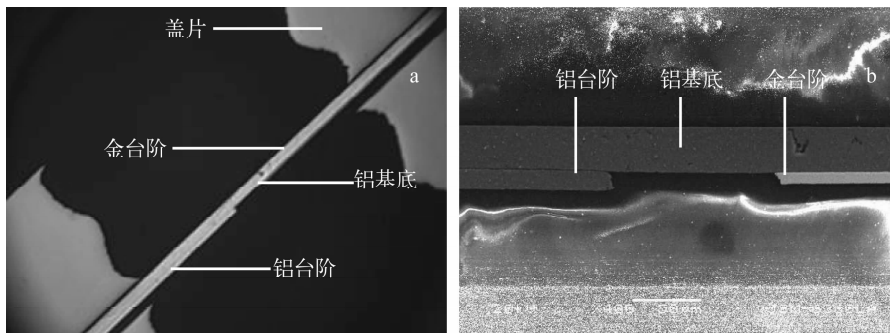


图3 显微镜(a)和扫描电镜(b)测量的靶端面图像

Fig. 3 Patterns of target section measured with microscope (a) and SEM (b)

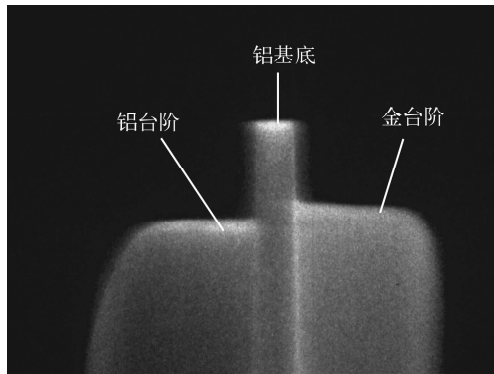


图4 阻抗匹配靶实验图像

Fig. 4 Pattern from target experiment

符合实验要求又易装配的金属作为制靶材料。对轧制后金属箔进行退火,可消除箔的应力,并软化金属。轧制前,需用酒精和丙酮对材料进行清洗,以去掉材料表面的污染物。在两种金属连接过程中,使用煤油等液体对材料表面进行湿润,有利于金属间的连接,通过一些辅助工序和装置来保证靶的质量和精度,并使用有孔盖片将成型靶固定,减小靶的变形。对靶进行测量,将变形靶剔除,以保证靶的质量和精度。

5 结论

在现阶段激光状态方程设计要求范围内,运用金属精密轧制方法,并通过精密装配,在装配过程中通过对靶质量的控制和测量进行筛选,能够制备出符合实验要求的阻抗匹配靶。

参考文献:

[1] 经福谦. 实验物态方程导论[M]. 2版. 北京:科学出版社,1999.

[2] 马民勋,高兰香. 评价阻抗匹配实验质量的一种新方法[J]. 上海电力学院学报,2004,20(1):38-40.

MA Minxun, GAO Lanxiang. A new method of evaluating match-impedance experiments [J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2004, 20(1): 38-40(in Chinese).

[3] 顾援,王刚勇,傅思祖,等. 实验测定铜在0.4~0.8 TPa压力范围内的冲击波绝热线[J]. 强激光与粒子束,1991,3(1):1-11.

GU Yuan, WANG Gangyong, FU Sizu, et al. Shock adiabat measurements on copper in the pressure range from 0.4 to 0.8 TPa[J]. High Power Laser and Particle Beams, 1991, 3(1): 1-11(in Chinese).

[4] EVANS A M, FREEMAN N J, GRAHAM P, et al. Hugoniot EOS measurements at Mbar pressures[J]. Laser and Particle Beams, 1996, 14(2): 113-123.

[5] ROTHMAN S D, EVANS A M, HORSFIELD C J, et al. Impedance match equation of state experiments using indirectly laser-driven multi-megabar shocks[J]. Physics of Plasmas, 2002, 9(5): 1 721-1 733.

[6] General Atomic Corporation. Inertial confinement fusion annual report[C]. USA: General Atomics, 1999: 55-57.

[7] 谢军,吴卫东,杜凯,等. Al/Cu阻抗匹配状态方程测试靶制备工艺研究[J]. 强激光与粒子束,2005,17(9):1 356-1 358.

XIE Jun, WU Weidong, DU Kai, et al. Fabrication technology of Al/Cu impedance match EOS measurement target[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(9): 1 356-1 358(in Chinese).