

# 等熵稀疏靶的制备及靶参数精密测量

叶君建, 何钜华, 傅思祖, 黄秀光, 谢志勇

(上海激光等离子体研究所, 上海 201800)

**摘要:** 本工作研究等熵稀疏靶的制备工艺和靶参数的测量方法。采用精密激光加工工艺将 Al、Au、Ag、Cu、Zn 等高纯金属薄膜切割成百微米量级宽度的窄条, 再结合精密微装配技术获得应用于状态方程实验所需的等熵稀疏靶。运用白光干涉仪对等熵稀疏靶进行参数精密测量。将等熵稀疏靶运用到“神光 II”上进行实验打靶, 并获得优质的实验图像。

**关键词:** 等熵稀疏; 靶; 激光; 状态方程

中图分类号: TL62

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2008)S0-0358-04

## Fabrication and Measurement of Isentropic Release Target

YE Jun-jian, HE Ju-hua, FU Si-zu, HUANG Xiu-guang, XIE Zhi-yong

(Shanghai Institute of Laser and Plasma, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** The fabrication and measurement of isentropic release targets were described. The Al, Au, Ag, Cu and Zn thin foils were cut to hundred micron by apparatus of laser. They are fabricated to isentropic release targets using in the laser equation of state experiments by the assembly. The parameters of targets were measured by NT1100 profiling system. The isentropic release targets were used in ‘SG II’ experiments and good images were obtained.

**Key words:** isentropic release; target; laser; equation of state

在状态方程实验研究中, 大多是进行材料冲击绝热线(雨贡纽线)的实验测量<sup>[1-4]</sup>, 而材料偏离雨贡纽线的状态方程数据(等熵稀疏)的实验测量较少, 但它与前者同样重要, 可丰富材料状态方程的数据, 校验状态方程理论模型<sup>[5-6]</sup>。实验用靶的制备是开展等熵稀疏相关实验的一重要内容。根据实验的设计要求, 等熵稀疏靶由 5 种金属材料构成, 相对常用的状态方程实验用靶<sup>[7-8]</sup>, 靶型更复杂, 靶精度要求高。实验

用靶主要是采用物理气相沉积或车削的方法制备, 但这两种方法都存在一定的缺点。物理气相沉积制备的金属薄膜密度一般是理论金属密度的 80%~90%<sup>[9]</sup>, 而车削一般很难车削到 15  $\mu\text{m}$  以下的金属薄膜。制备等熵稀疏靶的主要工艺是以 Al、Au、Ag、Cu、Zn 薄膜为原料, 经激光精密切割和精密装配工艺制备等熵稀疏靶。采用白光干涉仪和操作显微镜等仪器监控靶的制备过程, 控制靶的各项参数和质量。

## 1 等熵稀疏靶的制备

等熵稀疏实验的原理是在一发实验中同时测量高密度的待测材料和几种低密度的比对材料的冲击波速度,根据它们各自的雨贡纽数据,确定其冲击绝热数据点,根据速度和压强连续性原理,从而确定待测材料在某一压强的等熵稀疏线上的数据点。改变驱动激光功率密度,就可确定待测材料始于不同冲击压强点的等熵稀疏数据。根据实验内容,等熵稀疏靶示意图示于图1,靶由高密度的Au材料作为基底和待测台阶、4种低密度(Al、Ag、Cu、Zn)作为比对台阶以及铝烧蚀层所组成,中间槽宽 $d$ 约为 $120\ \mu\text{m}$ 。靶的制备主要包括靶组件的精密切割和靶的精密装配。靶的具体参数如下:待测台阶Au厚度为 $5\sim 6\ \mu\text{m}$ ,Au基底厚度为 $(10\pm 1)\ \mu\text{m}$ ,Al基底厚度为 $(25\pm 2)\ \mu\text{m}$ ;对比台阶厚度,Al为 $10\sim 11\ \mu\text{m}$ ,Cu为 $7\sim 8\ \mu\text{m}$ ,Ag为 $6\sim 7\ \mu\text{m}$ ,Zn为 $8\sim 9\ \mu\text{m}$ 。

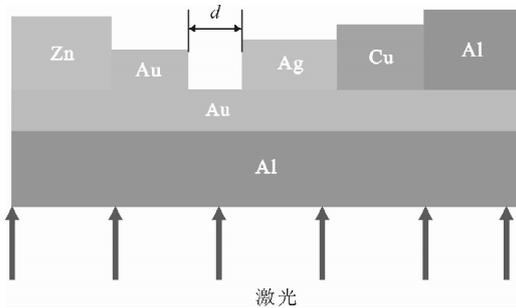


图1 等熵稀疏靶示意图

Fig.1 Scheme of isentropic release targets

### 1.1 靶组件的精密切割

由于激光束斑直径很小,又是非接触加工方式,力、热变形小,非常适合高加工精度的金属切割<sup>[10-11]</sup>。切割金属的工艺如下:1)将金属薄膜展平在平整的玻璃板上;2)将样品放置在工作台上,聚焦激光束使焦点在样品表面;3)选择合适的激光加工参数;4)采用扫描方式切割金属薄膜,从而获得各种宽度的靶组件。

### 1.2 靶的精密装配

靶的精密装配主要在操作显微镜下完成,先将金基底和铝烧蚀层连接,再按照台阶的厚度依次连接到基底上,控制台阶间的槽宽,并使用两个盖片将靶整体包裹,在装配的过程中对

靶进行监控和多次测量,控制靶的相关参数。

## 2 讨论和分析

### 2.1 靶组件宽度的控制

激光实验打靶的焦斑决定了靶的有效区域为 $\phi 800\ \mu\text{m}$ 左右,为将5个台阶合理分布在有效区域内,并考虑到制靶的简单性,将中间3个台阶的宽度控制在 $120\ \mu\text{m}$ ,边上的两个台阶宽度为 $400\ \mu\text{m}$ 。激光精密加工示意图示于图2,激光器出光后,经光学聚焦系统后形成聚焦的激光束,根据加工工艺的需要调节焦斑大小,控制系统主要是控制光学聚焦系统和工作台参数。激光加工的实际参数为:波长 $1\ 064\ \text{nm}$ 、功率 $2\ \text{W}$ 、脉宽 $10\ \text{ps}$ 、焦斑直径 $25\ \mu\text{m}$ 。图3为激光加工系统切割金属薄膜的方式,扫描加工的长度和宽度均为 $16\ \text{mm}$ 。 $B$ 为相邻两条激光束扫描线的距离, $D$ 为激光束光斑直径,薄膜宽度 $W=B-D$ 。由于 $D$ 已知,只要控制 $B$ 的大小,就能加工出各种 $W$ 的薄膜窄条。激光功率是一定的,每次扫描切割深度较小,不能切割穿金属薄膜,要经多次扫描。金属薄膜厚度很薄、硬度较软,被展平在平整的玻璃板上,这样即使激光束多次扫描加工打穿金属,大部分激光也能透过玻璃,对金属薄膜的热影响较小。

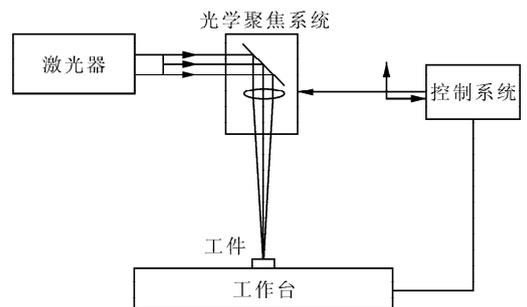


图2 激光加工示意图

Fig.2 Scheme of laser proceeding

根据靶参数对靶组件的要求,用激光加工设备切割了Al、Au、Zn、Ag、Cu等多种金属薄膜。以金薄膜材料为例,图4a为经激光扫描切割后的整体测量图像,金薄膜的宽度为 $120\ \mu\text{m}$ 。为进一步测量金薄膜材料的相关参数,通过白光干涉仪对金薄膜进行测量和分析,金薄膜的高度为 $5.7\ \mu\text{m}$ (图4b、c)。

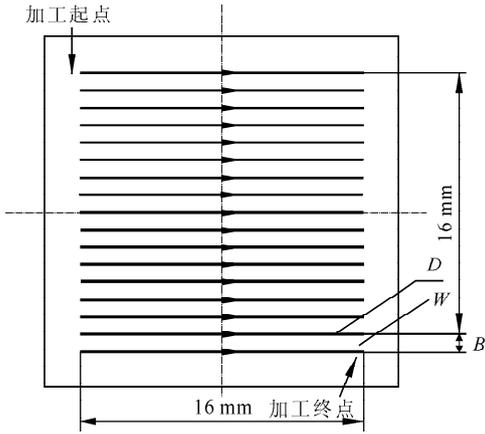


图3 激光切割金属薄膜的扫描方式

Fig. 3 Method of thin film cutting by laser proceeding

## 2.2 等熵稀疏靶参数测量和分析

等熵稀疏靶使用的薄膜厚度很薄, 硬度较软。通过多次试验, 以煤油为湿润剂, 并施加一定的压力, 使薄膜通过相互间的分子作用力相

互连接, 但由于相互之间的连接力较小, 随着时间的变化有的台阶与基底可能会脱开而导致靶发生变形。在靶上粘接两层盖片, 既能将靶的一部分压住, 减小变形, 又能利用盖片与靶的相对位置作为标记, 对靶进行测量, 获得靶参数, 使实验打靶的数据与靶参数一一对应, 同时也能检测出靶是否发生变形, 舍弃变形的靶, 提高实验精度。表1为状态方程实验所用的等熵稀疏靶台阶高度两次测量的数据, 并求出两次测量数据的差值。通过比较并综合测量数据图像可知, 靶槽的宽度未变化, 在水平方向未变形。而台阶高度两次测量大部分第1次测量数据比第2次测量数据要大, 差值除个别外, 一般在 $0.2\ \mu\text{m}$ 以内。金和银台阶的差值的平均值较小, 而铝和铜的差值平均值较大。

## 2.3 靶端面测量

实验打靶的过程是激光从基底进入靶后, 再穿过台阶产生信号进入接受系统。图5为等

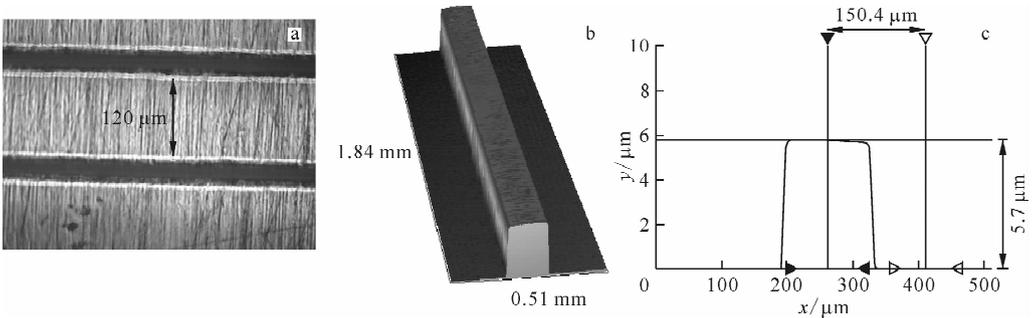


图4 金宽度测量(a)、金的三维图像(b)以及金的厚度测量(c)

Fig. 4 Width of Au (a), 3-D image of Au (b) and thickness of Au (c)

表1 等熵稀疏靶两次测量结果

Table 1 Twice measure data of isentropic release targets

编号	Au 台阶高度/ $\mu\text{m}$			Cu 台阶高度/ $\mu\text{m}$			Al 台阶高度/ $\mu\text{m}$			Ag 台阶高度/ $\mu\text{m}$			Zn 台阶高度/ $\mu\text{m}$		
	第1次	第2次	差值	第1次	第2次	差值	第1次	第2次	差值	第1次	第2次	差值	第1次	第2次	差值
57	5.51	5.41	0.10	7.35	7.17	0.18	11.16	10.95	0.21	6.65	6.53	0.12	8.48	8.57	-0.09
64	5.74	5.54	0.20	7.22	7.08	0.14	11.07	11.08	-0.01	6.81	6.69	0.12	9.40	9.20	0.20
65	5.87	5.84	0.03	7.64	7.45	0.19	10.97	10.95	0.02	6.50	6.32	0.18	9.22	9.10	0.12
70	5.90	5.76	0.14	7.73	7.71	0.02	11.05	10.88	0.17	6.49	6.50	-0.01	9.15	8.73	0.42
71	5.86	5.90	-0.04	7.60	7.41	0.19	11.47	11.09	0.38	6.76	6.76	0.00	9.01	8.81	0.20
73	5.91	6.03	-0.12	7.46	7.33	0.13	11.13	11.05	0.08	6.55	6.55	0.00	9.24	9.22	0.02
78	5.81	5.91	-0.10	7.42	7.24	0.18	11.61	11.51	0.10	6.53	6.71	-0.18	9.15	9.42	-0.27
82	5.94	5.86	0.08	7.35	7.16	0.19	11.68	11.53	0.15	6.18	6.22	-0.04	8.60	8.55	0.05
平均			0.04			0.15			0.14			0.02			0.08

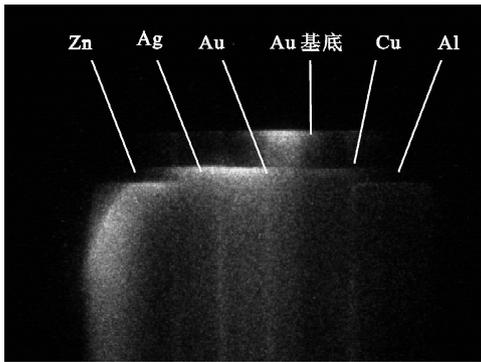


图5 等熵稀疏靶实验图像

Fig.5 Figure of experiment

熵稀疏靶运用到“SG II”上进行状态方程实验的图像。通过实验图像的数据处理和靶参数的相关数据能确定待测材料的等熵稀疏点。从实验图像可知,Au 基底、Au 台阶、Ag 台阶、Zn 台阶的信号清晰且平整,而 Al 和 Cu 台阶信号可分辨且较平直,但由于卸载的温度较低,信号强度较弱。靶的实验信号整体性较好,靶制备的质量和精度较高。

### 3 结论

采用精密切割结合精密装配工艺制备的等熵稀疏靶,对厚度在  $30\ \mu\text{m}$  以内的 Al、Au、Ag、Cu、Zn 等硬度较软的金属薄膜能够适用,并能够制备符合实验要求的等熵稀疏靶。

### 参考文献:

- [1] FU Sizu, GU Yuan, WANG Shiji, et al. Laser-driven shock stability in Al and shock compressibilities of Fe up to 0.8 TPa and  $\text{SiO}_2$  up to 0.4 TPa[J]. Phys Plasma, 1995, 2(9): 3 461-3 465.
- [2] 舒桦,傅思祖,黄秀光,等. 状态参量相关性对实验数据不确定度的影响[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(9): 1 365-1 368.  
SHU Hua, FU Sizu, HUANG Xiuguang, et al. Influence of pertinence of physical parameters on uncertainty of experimental data[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(9): 1 365-1 368(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): 1-10.

GU Yuan, WANG Gangyong, FU Sizu, et al. Shock abiat measurements on copper in the pressure range from 0.4 to 0.8 TPa[J]. High Power Laser and Particle Beams, 1991, 3(1): 1-10(in Chinese).

- [4] 傅思祖,顾援,吴江,等. 超高压状态方程中激光驱动冲击波稳定性[J]. 物理学报, 1995, 44(7): 1 108-1 112.  
FU Sizu, GU Yuan, WU Jiang, et al. Laser driven shock stability in ultrahigh pressure equation of state[J]. Acta Physica Sinica, 1995, 44(7): 1 108-1 112(in Chinese).
- [5] KNUDSON M D, ASAY J R, DEENEY C, et al. Adiabatic release measurements in aluminum from 240 to 500 GPa states on the principal Hugoniot[J]. J Appl Phys, 2005, 97: 073514.
- [6] ROTHMAN S D, PARKER K, ROBINSON C, et al. Measurement of a release adiabatic  $\sim 8$  Mbar in lead using magnetically driven flyer impact[J]. Phys Plasmas, 2004, 11(12): 5 620-5 625.
- [7] 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]. Phys Plasmas, 2002, 9(5): 1 721-1 733.
- [8] KENNETH S. Inertial confinement fusion annual report [D]. California: General Atomics, 1999.
- [9] 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).
- [10] 张银江,方鸣岗. 激光精密切割技术研究[J]. 激光与红外, 2004, 34(3): 191-192.  
ZHANG Yinjiang, FANG Minggang. The study on the solid laser precise cutting technology[J]. Laser and Infrared, 2004, 34(3): 191-192(in Chinese).
- [11] 文秀兰,林宋,谭昕,等. 超精密加工技术与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 100-109.