

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0931-03

激光烧蚀 Cu 产生等离子体羽的特性研究

黄庆举

(茂名学院物理系, 广东 茂名 525000)

摘要: 通过拍摄脉冲激光在氦气中烧蚀金属 Cu 诱导产生等离子体羽的照片, 测定等离子体羽的发射光谱及其强度随空间的分布, 结果表明等离子体羽由三个区域构成, 不同区域的诱导发光机理不同, 并用之较好地解释了所观察的实验现象。

关键词: Nd YAG 激光; 烧蚀; 等离子体羽; 金属 Cu

中图分类号: O536 **文献标识码:** A

Study on the Properties of Plasma Plume Produced by Pulsed Laser Ablation of Metal Cu

HUANG Qing-ju

(Phys Dept, Maoming college, Maoming 525000, China)

Abstract: The plasma plume photograph from pulsed laser ablation of metal Cu in the pressure of 12.4 kPa helium atmosphere was taken, Spatial-resolved measurements of plasma plume emission spectra by pulsed laser ablation of metal Cu in helium were reported. The experimental results may be explained using a simple model based on plume is made of three different ranges. In the ranges, the colour character and the ablation mechanism is different from one another, it can be used to explain the experimental results successfully.

Key words: Nd YAG laser; ablation; plasma plume; metal Cu

1 引言

激光烧蚀溅射在薄膜沉积、固体表面的刻蚀与改性、固体材料微区分析等方面有广泛的应用价值。但激光烧蚀的过程十分复杂, 从动力学来分析等离子体的形成、传播到消失, 经历了一个电子、原子、离子和粒团之间相互剧烈碰撞作用的过程^[1-2]。Itin^[3]认为烧蚀诱导发光过程在激光脉冲内, 脉冲激光对溅射碎片的再解离激发。Harilal^[4]认为等离子体羽的辐射来自激光烧蚀溅射出的物质团簇或颗粒在等离子体中被电子汽化并激发。激光等离子体的羽光发射包括特征原子线、离子线、连续背景光, 它能够反映等离子体羽的整体特征^[5-6]。本文采用

1064nm 的脉冲激光烧蚀金属 Cu 的方式, 拍摄等离子体羽的照片, 采用空间分辨光谱测试技术, 测量了等离子体羽的发射光谱, 研究了等离子体羽的外观特征与特性, 对等离子体羽的辐射机理进行了探讨。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 脉冲 Nd YAG 1064nm 激光器 (脉冲宽度为 20ns, 功率密度为 2×10^9 W/cm²) 发出的激光通过一个透镜 ($f = 100$ mm), 经过石英窗进入烧蚀室, 垂直聚焦到一个可旋转的 Cu

作者简介: 黄庆举 (1965-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为激光与物质的作用。

收稿日期: 2006-02-27; 修订日期: 2006-07-23

靶上,靶的转速为 240转 /min。激光与 Cu靶相互作用的光斑直径为 0.9mm左右,烧蚀室里的压强为 14.3kPa,实验使用 He作为缓冲气体。激光辐照表面时,在垂直于靶面的方向上,能够清楚地看到一个等离子体羽状发光体。实验中所用的铜靶纯度为 99.99%,在垂直于靶面的法线方向上,用 $f=28\text{mm}$ 的照相机在适当的距离处把等离子体羽成像在相机的彩色底片上。利用快速照相的办法获得清晰等离子体羽彩色照片,关于测量等离子体羽发射光谱的实验装置与文献 [7] 相同,在此不再重述。

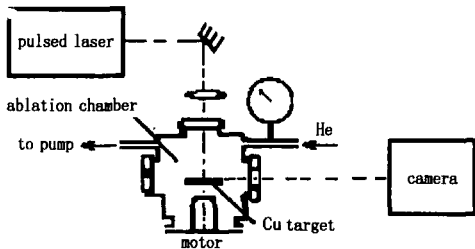


图 1 拍摄激光烧蚀金属 Cu产生等离子体羽的实验装置图
Fig 1 schematic diagram of the experimental setup for plasma plume made by laser ablated Cu sample

3 实验结果与讨论

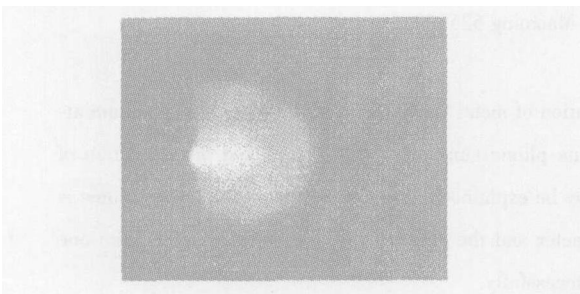


图 2 在 12.4kPa的 He下,拍摄激光烧蚀金属 Cu产生等离子体羽的照片
Fig 2 the photograph of plasma plume taken in pressure of 12.4kPa helium

在 12.4kPa的 He下,拍摄激光烧蚀金属 Cu产生等离子体羽的照片(图 2),从图中可以看出,等离子体羽的中心为白色,中间为黄、紫等混合色,外围为绿色。

在 12.4kPa的 He下,离靶 1.32mm处所测定的激光烧蚀金属 Cu诱导等离子体羽的发射光谱,如图 3所示。从图中可以看出,等离子体羽的发射特征光谱线主要由 Cu原子激发谱线构成,其次为离子激发谱线。从发射总强度来看,铜的原子谱线与离子谱线相比,不仅前者数目比后者多,而且强度也比后者大。这些原子和离子的辐射线都叠加在较

强的连续发射谱的背景光上。另外,发现等离子体羽的外围呈绿色。在不可见光范围内的光,Cu 282.44nm、Cu 324.75nm、Cu 331.97nm的原子线和 Cu 268.93nm、Cu 224.26nm离子线最强。在可见光范围内,绿色光的波段 Cu 501.66nm、Cu 521.82nm、Cu 529.52nm的原子线均较强。

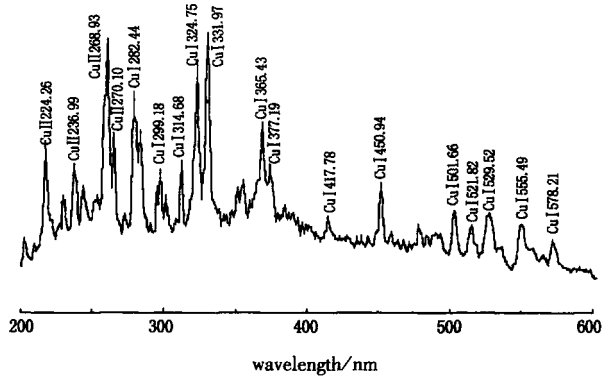


图 3 在 12.4kPa的 He下,离靶 1.32mm处等离子体羽的发射光谱图

Fig 3 the emission spectrum of plasma plume made by laser ablated Cu sample in 12.4kPa helium at 1.32mm from target

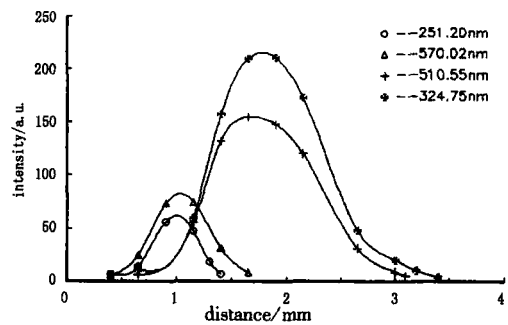
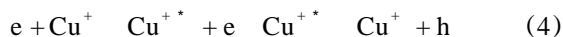
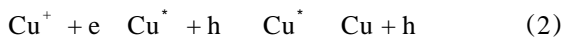
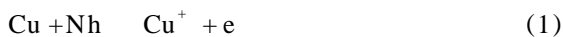


图 4 在 12.4kPa的 He下,Cu 570.02nm、Cu 510.55nm、Cu 324.75nm与 251.20nm背景光的发光强度的空间分布
Fig 4 the spatial-resolved intensity distribution of Cu 570.02nm、Cu 510.55nm、Cu 324.75nm and continue background radiation at 251.20nm from recorded following laser ablation in 12.4kPa He

在 12.4kPa的 He下,等离子体羽中 Cu 521.8nm、Cu 467.4nm、Cu 327.4nm特征谱线辐射强度 251.20nm背景光辐射强度的空间分布,如图 4所示。从图中可以看出,251.20nm背景光的辐射范围为 1.4mm,其辐射强度最大处离靶面 1.0mm,Cu 570.02nm的辐射范围为 1.7mm,其辐射强度最大处离靶面 1.1mm,Cu 510.55nm的辐射范围为 3.2mm,其辐射强度最大处离靶面 1.7mm,Cu 324.75nm的辐射范围为近 3.5mm,其辐射强度最大处离靶面 1.9mm,原子线的发光强度

与范围通常较离子线的大。如果电子与原子、离子的碰撞传能激发为主要过程,由于离子的运动速度大于原子的运动速度^[8],那么铜的离子线的发光范围应大于原子线的发光范围,但通常却相反。如果电子与离子的复合激发为主要过程,由于在等离子体羽中,铜的二价离子的密度远小于一价离子的密度,那么离子线的数量及强度与原子线相比,可以忽略不计,但事实并非如此。

在激光脉冲作用期间,金属局部快速加热升温,引起材料强烈蒸发、汽化,包含大量的颗粒、团簇、原子、离子和电子。它们还将受到激光的作用,引起颗粒团簇的原子化和离子化。而电子又将通过逆韧致辐射作用,吸收激光能量,而达到很高的速度。电子和离子复合除了产生激发态的离子和原子外,另一个主要特征是复合过程中伴随着连续辐射。高能电子在密集离子环境中快速运动,产生较强的韧致辐射,形成等离子体羽光中的连续辐射。在 Cu 原子和离子的激发机理中,包括电子的碰撞传能激发以及电子与离子的复合激发,使原子和离子处于激发态。另外,Cu原子中的一部分可以发生多光子电离,用公式表示:



(1)式表示靶原子的多光子电离;(2)式为电子与离子的复合激发辐射,产生原子的特征辐射线;(3)、(4)式表示电子与原子和离子的碰撞传能激发,产生原子和离子的特征辐射线。

根据在 12.4 kPa 的 He 下拍摄激光烧蚀金属 Cu 产生等离子体羽的照片特征,发现等离子体羽由三个区域构成,中心区的颜色呈白色是由于温度最高,为高温快速电子韧致辐射区,产生连续背景光,其特征谱线辐射量很少,且辐射的时间短,所以呈白色。中间区呈混合色是由于其温度比中心区低,此区以电子与粒子的碰撞传能激发、电子和离子的复合激发以及电子的韧致辐射,故呈混合色。外围区呈绿色是由于其温度最低,此区以电子与粒子的碰撞传能激发为主,其产生的原子线大多由电子与原子的传能碰撞激发而产生,例如,Cu 501.66 nm、Cu

521.82 nm、Cu 529.52 nm 等属绿光,视见函数较大,人眼对此类光谱较敏感,而较强的 Cu 282.44 nm、Cu 324.75 nm、Cu 331.97 nm 等原子线分布在紫外区,其视见函数为零,故外围区的颜色呈绿色。

4 结论

综上所述,在氦气作为环境气体的激光烧蚀金属 Cu 产生的等离子体羽由三个区域构成,不同区域的颜色不同,不同区域的诱导发光机理也不同,由于激光烧蚀金属诱导产生等离子体羽的过程非常复杂,还有待于进一步地研究与探讨。

参考文献:

- [1] 王象泰,满宝元,王公堂,等.脉冲激光烧蚀空气中金属靶产生等离子体的性质[J].原子与分子物理学报,1996,13(3):273-277.
- [2] Docchio F, Regondi P, Capon M R C, et al. Study of the temporal and spatial dynamics of plasma dynamics of plasmas induced in liquids by nanosecond Nd:YAG laser pulses. 1. Analysis of the plasma starting times, 2. Plasma luminescence and shielding[J]. Appl Opt, 1988, 27: 3661-3674.
- [3] T E Itina, J Heimann, P Delaporte, et al. Laser-generated plasma plume expansion: Combined continuous microscopic modeling[J]. Phys Rev (E), 2002, 66(6): 66406-66417.
- [4] S S Harilal, C V Bindhu, M S Tillack, et al. Internal structure and expansion dynamics of laser ablation plume into ambient gases[J]. J. Appl Phys, 2003, 93(5): 2380-2388.
- [5] B Y Man, Q L Dong, A H Liu, et al. The line-broadening analysis of plasma emission produced by laser ablation of metal Cu[J]. J. Opt A: Pure Appl Opt, 2002, 6(1): 17-21.
- [6] A De Giacomo. Experimental characterization of metallic titanium-laser induced plasma by time and space resolved optical emission spectroscopy[J]. Spectrochimical Acta Part B, 2003, 53: 71-83.
- [7] 黄庆举,方尔梯.脉冲 Nd:YAG 激光烧蚀 Al 产生等离子体特征辐射的机理研究[J].原子与分子物理学报,2000,17(1):64-66.
- [8] 曾宪康,方尔梯.激光溅射 Al 靶产生的 Al 离子的空间角分布[J].应用激光,1994,14(3):113-116.