

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0096-03

激光引发的等离子体光谱法(LIPS):等离子体辐射空间不均匀性的影响

林丽云 王声波 郭大浩 吴鸿兴 夏小平 戴宇生 李国杰 李静

(中国科技大学强激光技术研究所, 安徽 合肥 230026)

摘要 在可见光区域内研究激光引发的等离子体光谱法(LIPS)。发现不同靶材产生的等离子体的空间形状和发光颜色不一样,而且不管激光以多大角度入射于靶,产生的等离子体都垂直于靶面向外辐射。不同靶材产生的等离子体谱线分析的最佳位置与待分析元素的原子量有关,放置在最佳位置时可以得到信噪比高的待测元素的辐射谱。此外在混合物靶材引发的等离子体中还发现 ArI 离子的特征谱线,如在紫铜和镀 Zn 的 Fe 中发现 578.352 nm 的 ArI 离子特征谱线,而在黄铜中发现 578.155 nm 的 ArI 离子特征谱线。

关键词 激光技术; 等离子体光谱法; 激光引发的等离子体; Nd:YAG 脉冲激光; 特征谱线

中图分类号 TL65·3

文献标识码 A

Spectrum Emitted by Laser-Induced Plasma: Influence of the Spatial Inhomogeneity of the Plasma

LIN Li-yun, WANG Sheng-bo, GUO Da-hao, WU Hong-xing, XIA Xiao-ping,
DAI Yu-sheng, LI Guo-jie, LI Jing

(Institute of High-power Laser Technology, University of Science and Technology of China,
Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract Some results of the laser induced plasma spectra in the visible range are presented. It is noticed that the spatial shape and fluorescent color of the induced plasma are different for different target materials, and the induced plasma beam is perpendicular to the target despite whether the laser is oblique to the target. The optimum location in the plasma for spectral analysis is different for various targets which depends on the atomic mass. And a characteristic spectrum of the ArI (578.352 nm) is discovered in the plasma spectra of red copper and the Fe doped with Zn, while ArI (578.155 nm) is discovered in the plasma spectra of brass.

Key words laser technique; plasma spectra; laser induced plasma; Nd:YAG laser characteristic spectra

1 引言

激光引发的等离子体光谱法(LIPS)是一种简单、快速、能实时进行的光谱线分析技术,将高功率激光聚焦于靶面产生高温高密度的等离子体,等离子体辐射由光纤头接收,进入摄谱仪。通过原子谱线分析可以决定样品中元素组成和元素浓度^[1]。尽管LIPS测量精度低、无法重复性工作限制了那些需要精确分析的应用领域^[2-4],但LIPS还是一个可靠的测定各种各样固体^[2-4],液体^[5,6]和气体的元素组成的有用方法^[7]。

2 实验装置

实验装置如图1,激发光源为调Q的Nd:YAG脉冲激光,其波长1064 nm,重复频率0.2 Hz,脉冲能量407.5 mJ,脉宽35 ns(FWHM),以多次脉冲辐照(约100次),并以焦距 $f=105$ mm的透镜聚焦到靶面上,等离子体辐射光通过一口径2.00 mm长2.0 m左右的光纤接收,该光纤平行于靶面放置在离主要作用区域不同位置上,光进入WP1平面光栅谱仪(1200 gr/mm,狭缝3~300 μ m)。写入MATLAB编程处理得到分析谱线,并由快速数码相机记录。

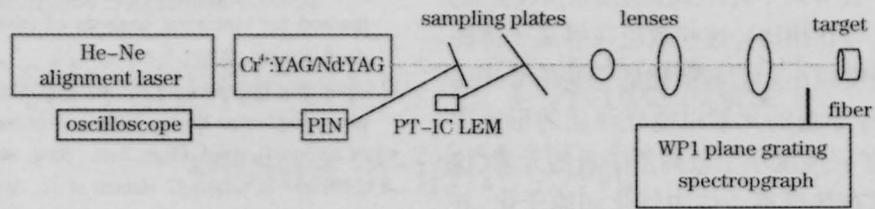


图 1 实验装置

Fig 1 Experimental setup

所需要的实验设备有激光器, 探测器, 摄谱仪, 聚焦和接受所需的光学系统, 开关控制的探测系统, 脉冲开关控制器等^[7]。

3 结果与分析

图 2 显示激光引发等离子体辐射的空间形状。黄铜靶的辐射从里到外颜色按白、绿、蓝分布, 紫铜和镀锌的铁靶辐射与它不同在于在它的外围增加一种紫色。而对 99.99% 的 Ag, 其颜色按白、蓝分布。而且发现不管激光以多大角度入射于靶, 产生的等离子体都垂直于靶面向外喷射。激光引发等离子体可以分为三个区域。核心区: 接近靶表面的等离子体辐射区其温度最高, 大部分原子处于电离状态, 等离子体开始辐射连续谱线; 中央区: 开始辐射原子、离子的特征谱线; 区域-III: 等离子体的延长区, 等离子体温度相对低。等离子体复杂的相互作用过程可以通过对等离子体辐射谱和其发光过程进行研究^[8]。

图 3 是拍摄的激光引发等离子体从 404.7~579.1 nm 的辐射谱, 利用汞灯来标定谱线, 其横坐标是相对尺度。图中较弱的灰线是由于照相底片的

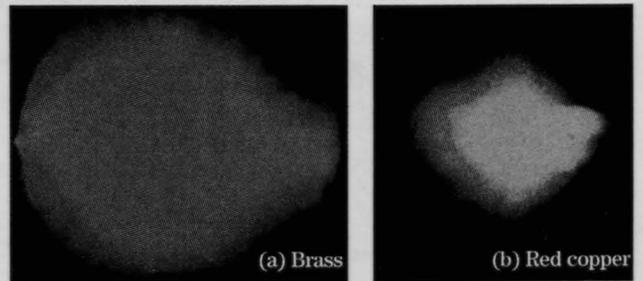


图 2 激光引发等离子体的空间形状

Fig.2 Spatial shape of laser induced plasma

噪声引起的。图 3(a)~(e)是将光纤头放置于离靶面不同位置时得到的不同信噪比的等离子体辐射谱线, 得到黄铜最佳特征谱线的最佳位置是靶面与光纤头距离 8.0 mm (光纤头平行于靶面), 紫铜是 7.0 mm, Ag(99.99%)是 5.0 mm, 镀 Zn 的 Fe 是 4.0 mm, 即将光纤头放置在离靶面最佳位置时就可以得到高信噪比的、待测的元素辐射谱^[8]。从图 3(d)~(e)可以看出铜化合物的辐射谱线有一定漂移, 这里应注意由于等离子体辐射的空间不均匀性, 不同靶材产生的等离子体谱线分析的最佳位置与元素的原子量有关, 等离子体形成初期, 离子线很强, 原子线随后。由于

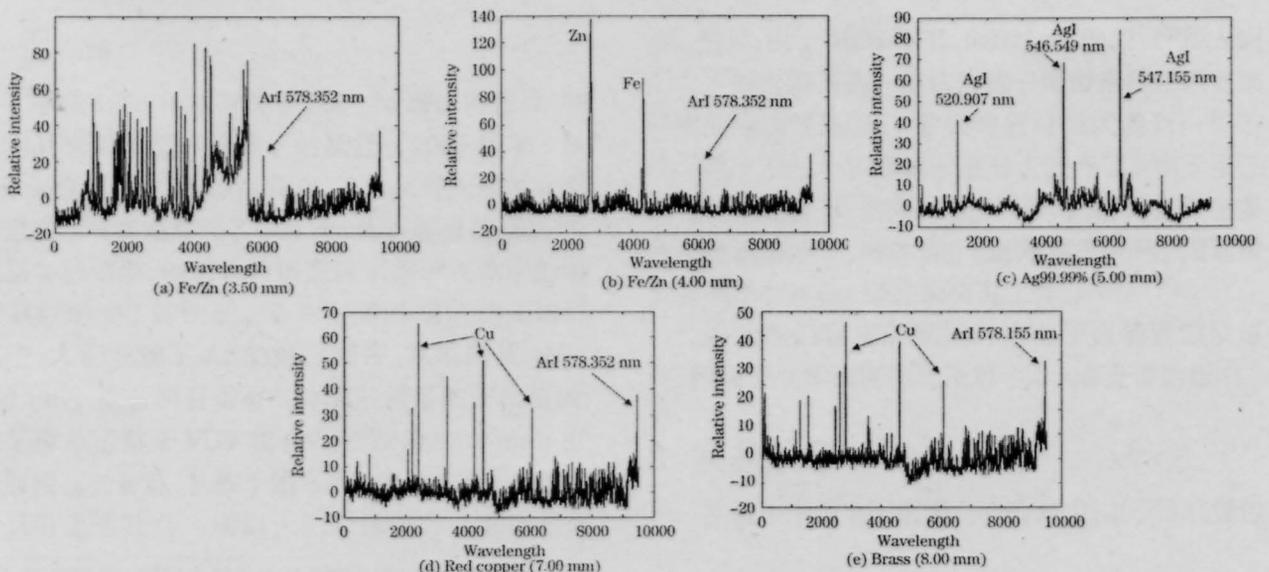
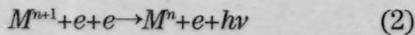
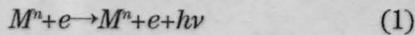


图 3 金属样品表面不同距离拍摄到的谱线图

Fig.3 Spectra of various metal samples acquired at different distances from the surface

Stark效应影响,在等离子体形成初期辐射线(重叠)很强,很宽(图 a 与 b 相比),这些效应在等离子体膨胀后阶段影响慢慢减小。前面所述的那些信号来源于消蚀材料,低原子量的元素以空气浮质的形式离开靶表面,它的扩张速度小于较高原子量的元素,这些低原子量元素在热等离子体中气化和原子化,并在较近的距离得到最佳的信噪比。另外发现,在混合物靶材产生的等离子体中都有 ArI 离子的特征谱线,如在紫铜和镀 Zn 的 Fe 等中发现 578.352nm 的 Ar I 离子特征谱线,而在黄铜中发现 578.155 nm 的 ArI 离子特征谱线。用下面式子表示连续谱线产生的机理:



$n=0, 1, 2 \dots$, 在对应 M^n, M^{n+1}, M^{n+2} 分别为原子, +1 价离子, +2 价离子..., (1) 式为韧致辐射, (2) 式为复合辐射。如果电子与离子的复合是导致连续谱线发生的主要机理,由(2)式可知,应该在等离子体的发光羽的光谱中观察到 Ar 离子的特征谱线^[9]。由于谱线中心位置有一定的漂移,所以可以认为 Ar 离子谱是由较高电子剥离度的类氩铜,类氩锌,类氩铁发射所致。

参 考 文 献

1 M. Kompitsas, F. Roubani-Kalantzopoulou, I. Bassiotis *et al.*

Laser induced plasma spectroscopy (LIPS) as an efficient method for elemental analysis of environmental samples [J]. *Appl. Spectr.*, 2001, 1-8

2 Quanming Lu, Samuel S. Mao, Xianglei Mao *et al.*. Delayed phase explosion during high-power nanosecond laser ablation of silicon[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **80**(17):3072-3075

3 U Panne, M. Clara, C. Haisch *et al.*. Analysis of glass and glass melts during the vitrification of fly and bottom ashes by laser-induced plasma spectroscopy. Part II. Process analysis [J]. *Spectr. Acta B*, 1998, **53**: 1969-1981

4 Ganeev R A, Chakera Zh. A, Raguramiya M *et al.*. The study of spectral, temporal and spatial characteristics of harmonics generated at solid surfaces [J]. *Optics & Spec.*, 2000, **89**(6): 967-972

5 C. W. Ng, F. W. Ho, N. H. Cheung. Spectrochemical analysis of liquids using laser-induced plasma emissions: Effects of laser wavelength on plasma properties[J]. *Appl. Spectr.*, 1997, **51**(7):976-983

6 F. W. Ho, C. W. Ng, N. H. Cheung *et al.*. Spectrochemical analysis of liquids using laser-induced plasma emissions: effects of laser wavelength[J]. *Appl. Spectr.*, 1997, **51**(1): 87-91

7 Valery Bulatov, Rivie Krasniker, Israel Schechter. Study of Matrix effects in laser plasma spectroscopy by shock wave propagation[J]. *Spectr. Acta B*, 2001, **56**:609-618

8 Bulatov Valery, Liang Xu, Israel Schechter. Israel Spectroscopic imaging of laser-induced plasma[J]. *Anal. Chem.*, 1996, **68**: 2966-2973

9 Huang Qingju, Fang Erdi. Mechanism of the continuum radiation in pulsed laser ablation of metal Cu[J]. *Laser & Infrared*, 1999, **29**(4):205-208

黄庆举,方尔梯. 激光烧蚀 Cu 产生等离子体的连续辐射研究[J]. *激光与红外*, 1999, **29**(4):205-208