

背景气压对激光蒸发金属靶产生的快电子的影响

何玮 吴自遐 崔俊文 胡企铨 林福成

(武汉工业大学) (中国科学院上海光机所)

提要: 我们对调Q激光($5 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$)蒸发金属靶产生的快电子进行了实验研究。观察了背景气压对快电子信号的影响。本文对观察到的现象进行了讨论并提出产生的原因。

Effect of background pressure on fast electrons produced from metal target vaporized by laser

He Wei, Wu Zixia

(Wuhan Polytechnic University, Wuhan)

Cui Junwen, Hu Qiquan, Lin Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Study was made for the effects of background pressure on the fast electrons produced from metal target evaporation by Q-switched laser light ($5 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$). In this paper, the phenomena observed in the experiment are discussed and explained.

一、引言

激光蒸发固体表面所产生的蒸气云在空间形成一个垂直于固体表面运动的粒子束^[1], 这对于难熔物质的取样是很有实用价值的。此技术已被用于发射光谱, 吸收光谱以及质谱的分析^[2]。当激光蒸发固体靶时, 会有带电粒子产生。这些带电粒子对于将蒸气云用作分析取样有很大影响。所以了解这些带电粒子的性质及规律对于激光蒸发取样在分析及光谱方面的应用是很重要的。同时, 对于这些带电粒子的研究有助于更进一

步弄清激光蒸发的机制。这方面的研究至今还不是很完善的。

早期在研究调Q激光蒸发金属靶所产生的带电粒子时, 从示波器上观察到双峰结构^[3~6], 如图2所示。时间上落后的第二个信号峰归因于激光蒸发靶产生的等离子体^[3,4]。这部分等离子体作为质谱分析的离子源得到很多的研究^[8]。第一个信号峰, 由于时间上靠前被称之为快电子(上曲线)和“快离子”(下曲线)信号。一般认为快电子是热电子发射^[3,4,7]。而“快离子”, Khan^[4]则认为这是由于靶在激光作用下辐射的紫外光,

收稿日期: 1985年11月6日。

这些紫外光照射到收集板上打出光电子，然后光电子被靶收集所造成的。最近还有人提到过这种机制^[9]，所以快电子信号和“快离子”信号是靶所发射的热电子和收集板发射的光电子的叠加效果。

Isenor^[3] 在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Torr 的气压范围内，对带电粒子信号随气压的变化进行了观察研究。所得到的结论是：快电子信号随气压的升高而增大；而慢电子，即与等离子体有关的那部分电子几乎不随气压变化。Arifor 等人^[5] 发现在 10^{-8} Torr 气压范围，快电子信号与气压无关。这些都是早期的研究结果，这方面我们还未发现有更新的文章发表。

我们对快电子信号随气压的变化作了更进一步的实验观察。结果与 Isenor 的观察基本相符。另外我们还发现使快电子信号消失的截止电压也是随气压的升高而增大的；而“快离子”信号在一定电压值下亦如此。本文对这些现象进行了讨论，并提出了产生这些现象的原因。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。波长为 $1.06 \mu\text{m}$ ，脉宽为 10 ns 的调 Q YAG 激光聚焦到黄铜靶 A 上。焦点功率密度约 $5 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ 。光线与靶 A 表面法解成 45° 角。在靶 A 前

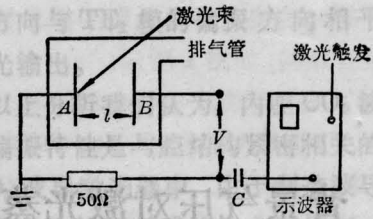


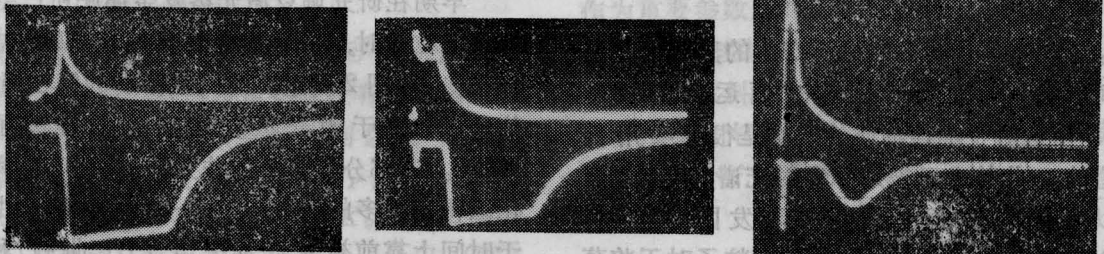
图 1 实验装置示意图

相距 2 cm 处，放置一块与靶 A 平行的黄铜电极板 B 作收集板。靶 A 和收集板 B 被密封在一个玻璃真空室中，其真空度可达 10^{-5} Torr 以上。在靶 A 和收集板 B 之间串 $\sim 50 \Omega$ 的电阻，并加一电压，电源为干电池。外电路的电流信号经一耦合电容送入示波器进行观察记录。

三、实验结果讨论

图 2 是几种不同气压下带电粒子信号的实验照片。上曲线的信号称正向快电子信号。因为此时的电压为正。下曲线是在电压为 -45 V 时得到的，我们称此时的信号为反向快电子信号。

从图 2 中可看出，正向快电子信号是随气压的升高而增大的。我们认为，这可能是因为快电子的动能较大，在气体中运动时会产生碰撞电离，使电子增殖。当气压升高时，电子运动的平均自由程减小、电子碰撞电离系数变大，从而使电子增多，另外靶所发射的



(a) 压气为 10^{-5} Torr

(b) 气压为 10^{-4} Torr

(c) 气压为 10^{-2} Torr

图 2 快电子信号随气压的变化

上曲线电压 $V = +45 \text{ V}$ ，下曲线电压 $V = -45 \text{ V}$ 。(a)(b) 示波器加 2.5 倍衰减。(c) 示波器加 5 倍衰减。前面的峰(时间扫描由左到右)是快电子信号，后面的峰为微等离子体信号，(a) 下曲线为无快电子信号，(c) 上曲线为慢电子信号被快电子信号淹没

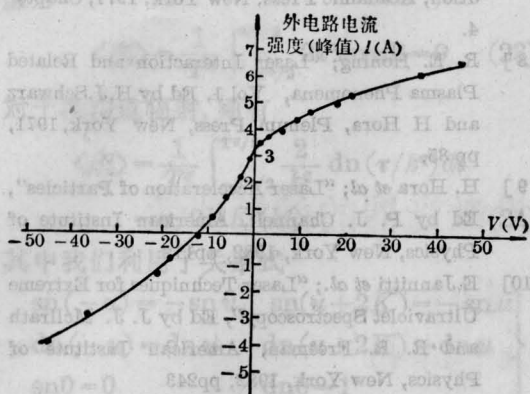


图3 快电子信号随电压的变化
(真空度 10^{-4} Torr)

热电子比收集板所发射的光电子多, 这样热电子增殖的量就比光电子增殖的多, 所以正向快电子信号随气压的升高而增大。慢电子信号(图2上曲线中时间落后的信号)动能较小, 它们与气体分子碰撞的电离率也很小, 因而慢电子信号随气压变化不大。在气压很低的情况下, 电子运动的平均自由程很大(相对极板间距离大很多)。这样电子在极板间渡越时和气体分子发生碰撞的几率很小, 因而电子产生的增殖很微。这种情况下, 如果气压改变不大就不会对电子数量产生明显影响。表现出来就是快电子信号与气压无关。这就是 Arifor 所观察到的现象。

实验中, 我们改变收集板与靶之间的电压对快电子信号进行了观察。图3是在 10^{-4} Torr 气压下, 快电子信号随电压的变化情况。由图可知, 当电压为零时, 快电子信号是正向的, 这时外电路电流是从靶 A 流向收集板 B 的。这意味着靶所发射的热电子比收集板所发射的光电子多。随着正电压的增大, 正向快电子信号增大。这是因为正电压提高了对热电子的收集效率, 同时也阻止了部分动能较小的光电子到达靶。当加负电压时, 随着电压值的增大, 正向快电子减小, 这时负电压提高了对光电子的收集效率, 同时阻止了动能较小的热电子到达收集板。当负电压值增

大到一定数值时(图3中是 -12 V), 快电子信号消失了。我们称这个电压值为截止电压。此时外电路没有电流, 到达靶的电子与到达收集板的电子达到平衡。当进一步加大负电压值时, 出现反向快电子信号。我们认为, 反向快电子信号的出现, 一是由于电压阻止了大部分热电子到达收集板; 二是电压提高了对光电子的收集效率; 三是高能电子碰撞电离后产生的低能电子在电压作用下被靶收集。从而使飞抵靶的电子多于飞抵收集板的电子。

我们还发现截止电压是随气压的升高而增大的(气压 10^{-5} Torr 时, 截止电压为 8V; 气压 10^{-2} Torr 时, 截止电压为 15V)。如果只考虑电子在气体中碰撞电离, 那么截止电压应该随气压的升高而减小。但实际上由于蒸气云中存在离子, 飞向靶的电子会与离子相遇发生作用。当气压升高时, 离子和电子的运动受阻, 速度减慢。而离子俘获电子的截面与它们相对速度的平方成反比(速度不很高的情况下)。当气压升高时, 离子对电子的俘获增强。如果俘获减少的电子数比碰撞电离增加的电子数多的话。那么飞抵靶的电子减少, 这样为恢复平衡就需要增大负电压值。我们认为截止电压随气压的升高而增大可能就是由此原因引起的。反之, 情况就不一样了, 图2下曲线中的反向快电子信号显然是随气压的升高而增大的。因为这时靶和收集板之间的电压为 -45 V, 比截止电压大一倍多。此电压使飞抵靶的电子相对离子的速度增大, 这样离子对电子的俘获减弱了, 从而俘获减少的电子数小于碰撞电离增加的电子数。所以, 反向快电子信号随着气压的升高而增大。

对以上讨论作定量分析需要知道有关碰撞电离和俘获的一些参数, 需要了解空间电荷情况, 需要弄清热电子和光电子的速度分布。因此必须进一步做些实验, 这方面的工作我们还在继续。

参考文献

- [1] 张延平等;《中国激光》,1986,13, No. 12, 753.
- [2] K. Dittrich, R. Wennrich; *Prog. Analyt. Atom. Spectrosc.*, 1984, 7, 139.
- [3] N. R. Isenor; *J. Appl. Phys.*, 1965, 36, 317.
- [4] S. H. Khan *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1965, QE-1, 359.
- [5] T. U. Arifov *et al.*; *Sov. Phys. JETP*, 1969, 28, 201.
- [6] W. L. Knecht; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, 8, 254.
- [7] J. F. Ready; Effect of High-Power Laser Radi-

ation, Academic Press, New York, 1971, Chapter 4.

- [8] R. E. Honing; "Laser Interaction and Related Plasma Phenomena, Vol 1, Ed by H.J. Schwarz and H. Hora, Plenum Press, New York, 1971, pp 85.
- [9] H. Hora *et al.*; "Laser Acceleration of Particles", Ed by P. J. Channell, American Institute of Physics, New York, 1982, pp112.
- [10] E. Jannitti *et al.*; "Laser Techniques for Extreme Ultraviolet Spectroscopy", Ed by J. J. McIlrath and R. R. Freeman, American Institute of Physics, New York, 1982, pp243.

简讯

我国研制成功平均功率 200 W 的脉冲 YAG 激光器

我们已研制成功平均输出功率大于 200 W、峰值功率 5 kW 的脉冲 YAG 激光器,工作频率为每秒 5 次至 30 次。该激光器采用脉冲氙灯泵浦,平均功率转换效率达 2%。激光光束发散角为 10 mrad 左右。

该激光器同时还能够连续运转。输出激光可以

用光纤传输,在医学和工业加工上有着极广泛的应用前途。

(中国科学院上海光机所
叶碧青 马忠林 王明琪
1986 年 12 月 19 日收稿)

华侨大学研制的对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器通过鉴定

对撞脉冲锁模(CPM)是 80 年代初出现的获得超短光脉冲的新技术。华侨大学应用物理系近代光学研究室为了完成国家教委科技司下达的“绝缘体点缺陷研究”课题,自 1984 年 6 月起开始研究 CPM Nd:YAG 激光器,在较短时间内设计了 CPM 激光器的腔型并研制成了锁模序列脉冲平均宽度~10 ps,精调可达 6~8 ps,输出单序列脉冲能量达 10 mJ,能量稳定性优于±10%,脉冲锁模几率~100%的 CPM Nd:YAG 激光器。近二年来,该器件运行情况良好,系统工作稳定,并已获得了大量的实验数据和理论分析结果。

为了完成整个课题,该研究室还研究了 CPM 激光器的超短脉冲与 LiF:F₂ 色心晶体和 BDN 染

料片的相互作用,积累了很多实验数据并对一些实验结果进行了比较有价值的理论分析,这在国内尚属首次。

1986 年 12 月 15~16 日国家教委科技司委托华侨大学组织了来自全国 11 个单位的 15 位专家组成的专家组进行了技术鉴定。在听取了研制报告,现场观看了实验装置,对各项技术指标进行抽查测试并全面审查了会议资料的基础上,专家组认为,该器件脉宽较窄,稳定性好,主要指标已达到了国内先进水平。参加鉴定会的专家希望该课题组在 PS 光与非线性介质相互作用研究方面,不断探索,继续完成下一阶段预定的研究课题。

(吉 禾)