

激光等离子体中的靶电压测量

赵庆春 陈时胜 毕无忌 王笑琴 何兴法

(中国科学院上海光机所)

提要: 观测并分析了不同功率密度下, 由于激光等离子体的空间电荷分离效应而产生的靶电压。100 微微秒的 1.06 微米激光垂直入射到平面铝靶上, 功率密度在 $2 \times 10^{14} \sim 8 \times 10^{14}$ 瓦/厘米² 范围内, 测得几千伏的靶电压, 持续时间等于或小于毫微秒量级。

Measurement of target voltage in laser plasmas

Zhao Qinchun, Chen Shisheng, Bi Wuji, Wang Xiaoqin, He Xingfa

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

Abstract: Measurement and analysis have been made on the target voltage induced by the effect of spatial charge separation at various power densities. Target voltage of several KV's and the duration of or within a few nanoseconds have been measured when a 1.06 μm laser beam (100 ps) is incident normally on an Al plane target at the power density ranging from 2×10^{14} to $8 \times 10^{14} \text{W/cm}^2$.

在“六束钽玻璃激光等离子体物理实验装置”的打靶实验中, 一些等离子体诊断仪器常常受到电干扰而不能正常工作。这些干扰除了来自激光系统中的“激光触发火花隙”以及脉冲氙灯的高压放电外, 还有一个重要来源, 即激光等离子体的空间电荷分离效应及其产生的靶电压^[1]。我们对此电压进行了测量, 并对它作了些分析。

图1是实验装置示意图。我们用六束钽玻璃激光系统^[2]中的一束激光做打靶实验。激光预脉冲与主脉冲的功率比约为 10^{-6} , ASE 小于 1 毫焦耳, 激光输出能量在 2~8 焦耳范围内, 脉冲宽度为 100 微微秒

(FWHM)。激光经 $f/2$ 、 $\phi 60$ 非球面透镜聚焦在长宽厚为 $15 \times 10 \times 2$ 毫米的平面铝靶上。激光垂直靶面入射, 靶上功率密度在 $2 \times 10^{14} \sim 8 \times 10^{14}$ 瓦/厘米² 范围内。铝靶用 6 厘米长的玻璃杆支撑在靶室的中间。用玻璃杆是为了防止靶电压沿杆电击穿, 同时也可以减少等离子体发出的 X 射线和紫外线辐射杆而产生干扰影响靶电压的测量。靶电压用一个电压分压器和示波器观测。测量时分压器一端与铝靶相连, 另一端接“地”电位。靶室的壁也同时接“地”。

测得的典型波形如图 2 所示, 是一个振

收稿日期: 1983 年 5 月 31 日。

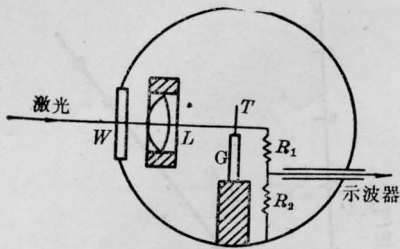


图1 实验装置示意图

T—平面铝靶；W—靶室窗口；L—非球面透镜；
G—玻璃杆；R₁、R₂—分压电阻

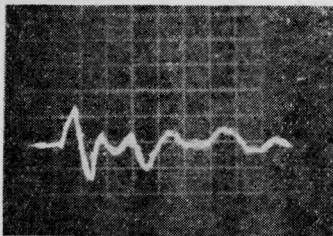


图2 靶电压的示波器照片

横轴—5毫微秒/格；纵轴—2千伏/格

荡波形。这是由于所用的靶面积较大，它与靶室(内径为700毫米的圆柱体)内的一些装置，例如打靶透镜架、测量探头支架等(它们与靶室壁都接“地”)相距仅10厘米左右，因而形成分布电容。又由于分压器到接“地”点之间有一段约40厘米长的非电缆引线等原因，形成分布电感，因而观测到的是一个振荡波形。

从图2可见，第一个脉冲是正信号，说明靶电压是正电压，即激光等离子体的电荷分离效应使靶带正电。在这种情况下，可等效地认为等离子体有一个很大的Debye长度。由于在等离子体膨胀过程中，电子在前，离子在后，这样在电子与离子之间就形成了电场，电场使电子减速，使离子加速，即电子能量转换为离子能量，这也是激光加热等离子体中能量转换过程的一部分。

在我们的靶室结构与实验条件下靶电压约为几千伏，持续时间等于或小于毫微秒量级。

靶电压随着靶面功率密度增加而增大

(见图3)，因而在高功率密度下，诊断仪器也最易受干扰。电压振荡波形中的最大值(即靶电容上的最大电压值)对应于靶电容所储存的最大电荷数 Q ，这也正是飞出等离子体的所有电子所携带的电荷。因而靶电压随功率密度增大意味着飞出的电子数增多，这与现在已被实验证实的随靶面功率密度增加，产生的快电子也增多这一结果相一致。利用公式

$$Q = CV = Ne \quad (1)$$

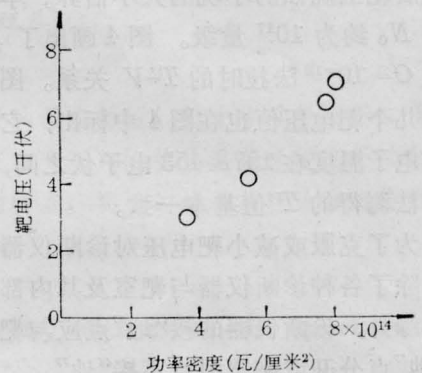


图3 不同功率密度下的靶电压
(点的大小表明实验测量的误差范围)

可推算出飞出的电子总数 N ，其中 e 是电子电荷， C 是靶电容，约为 10^{-12} 法拉量级，靶电压为几千伏，所以按(1)式可知飞出的电子总数在 10^{10} 个量级。

利用这一效应也可以估算等离子体的电子温度 T 。因为只有大于某一最小能量 E_0 的电子才能逃出等离子体，小于 E_0 的电子将在靶电压的作用下返回靶，所以

$$E_0 = eV \quad (2)$$

假定电子都是服从Maxwellian分布的，则只有Maxwellian分布高能翼尾上的电子才能飞出等离子体。这样，在半空间里，飞出的电子总数 N 则是

$$N = \frac{1}{2} \int_{E_0}^{\infty} f(E) dE \quad (3)$$

其中

$$f(E) = [(2N_0/\sqrt{\pi})(kT)^{3/2}] \times \sqrt{E} \cdot \exp(-E/kT)$$

是电子分布函数, N_0 是激光打靶后形成的总电子数, k 是玻尔兹曼常数。积分(3)式并利用(2)式可近似地得到

$$V = \frac{e}{\sqrt{\pi}} \frac{N_0 \exp(-eV/kT)}{c} \times \left(\frac{eV}{kT}\right)^{1/2} \cdot \left(1 + \frac{kT}{2eV}\right) \quad (4)$$

(4)式就是靶电压与等离子体电子温度的关系式, 靶电压与电子温度成正比。其中 N_0 用打靶后靶上烧蚀的小坑的大小估算。本实验中的 N_0 约为 10^{17} 量级。图4画出了 $N_0 = 10^{17}$ 、 $C = 10^{-12}$ 法拉时的 $T-V$ 关系。图3所示的几个靶电压值也在图4中标出, 它们对应的电子温度在 $197 \sim 453$ 电子伏之间, 与其他方法测得的 T 值基本一致。

为了克服或减小靶电压对诊断仪器的影响, 除了各种诊断仪器与靶室及其内部装置电绝缘外, 诊断仪器的接“地”点应与靶室的接“地”点分开或靶室根本不接“地”。

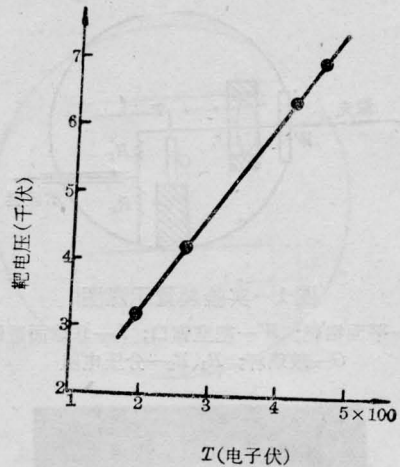


图4 按(4)式画出的 $T-V$ 关系
(黑点是图3中测得的靶电压值)

参加本实验的还有田莉、戴美兰、韦小春、樊根良和应影等同志。

参 考 文 献

- [1] O. W. Mendel *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1975, **34**, 859.
- [2] 邓锡铭等;《光学学报》, 1981, **1**, No. 6, 553.

(上接第 207 页)

平均输出功率高。在这种器件中, 由热引起的染料溶液的折射率梯度很方便地被用来实现振荡激光的低损耗, 自波导传播, 使得染料流的湍动和闪光灯的冲击波对激光特性的影响都近于可以忽略。这种矩形截面平板自波导结构, 只要保证二板间距为染料在峰值吸收波长上吸收长度的几倍, 就可充分利用被泵溶液的最高反转区, 并保持一个大的有效激活体积和与泵浦源的有效耦合。进一步改善这种激光器, 对染料盒壁冷却; 让盒板间距

进一步最佳化; 更精确地调整柱面镜的位置等, 估计将进一步提高这种激光器的效率, 输出能量和平均功率。

参 考 文 献

- [1] P. Burlamacchi *et al.*; *Opt. Commu.*, 1973, **9**, No. 1, 31~34.
- [2] P. Burlamacchi *et al.*; *Opt. Commu.*, 1974, **11**, No. 2, 109~111.
- [3] P. Mazzinghi *et al.*; *IEEE J. Quani. Electr.*, 1981, **QE-17**, No. 11, 2245~2248.