

# 磁约束放电等离子体电抗特性的研究

陈永洲 陈清明 赖建军 李 军

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 介绍了一种测量等离子体电抗的方法, 并对横向磁场影响下等离子体电抗特性进行了研究, 理论分析与实验曲线拟合得很好。

关键词: 磁约束放电 电抗特性

## Study on reactance characteristic of plasma confined by a transverse magnetic

*Chen Yongzhou, Chen Qingming, Lai Jianjun, Li Jun*

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** Using of transverse magnetic can improve discharge stability and increase the output power of the metal vapor lasers. In order to obtain shorter rising period of the discharge pulse, it is important to decrease the reactance of the discharge circuits. The analysis and calculation of the discharge circuit fit the experiment results very well.

**Key words:** discharge confined by transverse magnetic reactance characteristic

## 引 言

横向磁场能够提高放电的稳定性, 从而提高激光输出功率<sup>[1]</sup>。理论分析表明<sup>[2, 3]</sup>: 横向磁场主要通过影响电子的自由行程, 增加电子的霍尔漂移, 减少电子沿管壁的扩散, 增加电子的碰撞次数(电子的能量分布向低能量方向移动), 提高电子的利用率, 提高电离度, 从而影响整

(2) 熔覆层中有圆形颗粒相存在, 成分分析结果表明颗粒为富 Fe 相, 是 Q235 钢基体熔化并被搅拌到熔池中后快速凝固所得。

(3) 利用所建激光熔覆模型能较好地解释熔覆层中颗粒的形成过程、分布特征及大小。

## 参 考 文 献

- 1 李 强, 欧阳家虎, 雷廷权 *et al.* 材料科学与工艺, 1996; 4(4): 22~ 35
- 2 Frenk A, Henchoz N, Kuz W. Zeitschrift für Metallkunde, 1993; 84(12): 886~ 892
- 3 Basu B, Date A W. Int J Heat & Mass Transfer, 1992; 35(5): 1049~ 1058
- 4 Munitz A. Metallurgical Transactions, 1987; 18B(9): 565~ 575
- 5 王爱华. 铝合金的激光熔覆及其过渡区行为的研究. 华中理工大学博士学位论文, 1997
- 6 舍克里 J 著. 彭一川 等译. 冶金中的流体流动现象. 北京: 冶金工业出版社, 1985: 340~ 352

作者简介: 王毛球, 男, 1970 年 6 月出生。博士研究生。现主要从事材料表面激光强化方面的研究。  
谢长生, 男, 1955 年出生。教授, 博导。从事激光强化及计算机在材料科学中的应用研究。

个放电激励过程;实际运用中<sup>[4]</sup>,约束放电激励千瓦级基模二氧化碳激光器已有报道。将这种放电激励方式应用于铜蒸气激光器的研究正在进行之中。由于金属蒸气激光器要求放电脉冲前沿很陡(100ns以内),这就对放电回路的电抗提出了更高的要求。我们旨在通过理论分析和实验得出等离子体的电抗。A. Yu. Artemev' ev<sup>[5]</sup>等人报道了在他们的放电环境下的等离子的感抗约为60nH(包括分布电感)。我们的结果远大于这个数值。

### 1 理论分析

先假设等离子体的电抗表现为电感  $L$  (包括分布电感)和电阻  $R$  的串联,分析一般的放电回路,如图1所示。在电容  $C$  的放电脉冲的激励下,回路电流可用二阶常系数微分方程表示:

$$L(\partial^2 i / \partial t^2) + 2R(\partial i / \partial t) + \omega_0^2 i = 0 \quad (1)$$

式中,  $\delta = R/(2L), \omega_0^2 = 1/(LC)$

当  $t = 0$  时,  $i = 0, L(\partial i / \partial t) = V_0$  (3)

其暂态分量形式由该方程所对应的齐次方程的特征根:  $\lambda_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$  (4)

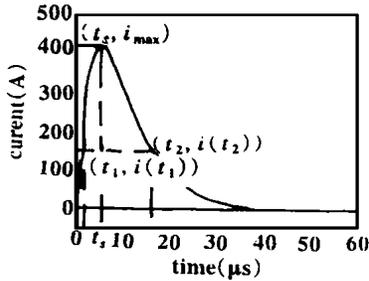


Fig. 2 The resistance oscillatory curve

所决定:

$$i(t) = \frac{V_0}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} e^{-\delta t} (l^{\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t} - l^{-\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t}) \quad (5)$$

为了测定  $L$  和  $R$ , 使  $i(t)$  成为阻尼振荡的形式。为此, 电容  $C$  的选择必须满足如下的条件:  $R \geq 2\sqrt{L/C}$  (6) 此时, 振荡的曲线类似于图2所示的波形。

电抗参数  $R$  和  $L$  与阻尼振荡波形的关系, 由(5)式可知, 电流取得极值的条件是: 当  $t = t_s, \partial i / \partial t = 0$  得到:

$$-\delta = \frac{\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} (l^{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t_s} - 1)^{-1}} \quad (7)$$

又由于  $i(t_1) = i(t_2)$ , 由(5)式易得:

$$2(t_1 - t_2) \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} (l^{\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t_s} - 1)^{-1} + \ln(l^{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t_1} - 1) - \ln(l^{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t_2} - 1) = 0 \quad (8)$$

联立(7)式和(8)式, 通过迭代法可确定  $\delta, \omega_0$ 。为了减小误差, 可以取多组  $(t_1, t_2)$ , 得到多组  $(\delta, \omega_0)$ , 然后求平均。计算表明, 在参数  $C$  的选择满足上述条件时, 有  $\delta \cong \omega_0$ 。再通过(2)式算出  $L, R$ 。此时不难确定(5)式中的各个参数, 得出拟合的波形。

### 2 实验结果

我们所用的放电电极是在一般的平板电极的阴极施加大约 0.2T 的横向磁场, 电极长度为 1m, 间距 2cm, 缓冲气体为氩, 气压为 80Pa。电源是中科院安徽光机所工程研究中心的 TOL-110 型准分子激光电源, 放电电压 700V。放电区的温度直接测量为 400K。实验中尽量将电路布置得合理, 以减小分布电感。放电检测电路如图3所示。图

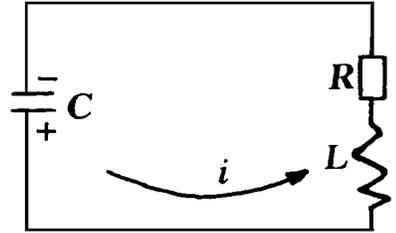


Fig. 1 The general discharge circuit (2)

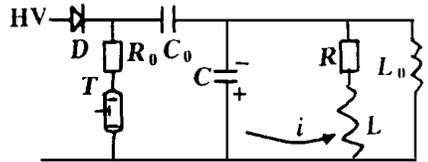


Fig. 3 The direct charge-discharge circuit with thyratron



Fig. 4 The current through  $C_0$  ordinate  $i(t)$ :  
5A/div, abscissa  $t$ : 0.2ms/div

中,  $L_0$  为旁路充电电感,  $R_0$  等效为闸流管  $T$  的内阻,  $C_0$  为充电储能电容, 前级提供的高压直流电源通过二极管  $D$ ,  $L_0$  对  $C_0$  充电, 当  $C_0$  达到最大电压  $V$  以后, 由于  $D$  阻止其反向放电,  $C_0$  将保持电压  $V$ , 直到闸流管触发导通。闸流管导通以后,  $C_0$  将通过  $T$  对  $C$  放电, 当  $C$  上的电压达到电极间气体的击穿电压时, 气体导电,  $C$  开始对电极回路放电。由于在我们的测量中不涉及电流幅值, 因此, 仅考虑了后阶段的放电过程, 检测到的波形如图 4 所示 ( $C_0 = C = 1\mu\text{F}$ ,  $L_0 = 892\mu\text{H}$ )。

从图 5 可以

看到:  $t_s = 3.0 \times 10^{-6}$  s, 取  $i(t_1) = i(t_2) = 30\text{A}$ ,  $t_1 = 1.3 \times 10^{-6}$  s,  $t_2 = 6.3 \times 10^{-6}$  s, 计算得到:  $\delta = 10^6/3$ ,  $L = 9.0 \times 10^{-6}\text{H}$ ,  $R = 6\Omega$ , 拟合的波形如图 6 所示。可见理论分析与实验符合得较好。

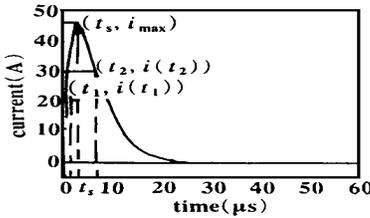


Fig. 5 The current through  $C$  ordinate  $i(t)$ : 15A/div, abscissa  $t$ : 5μs/div

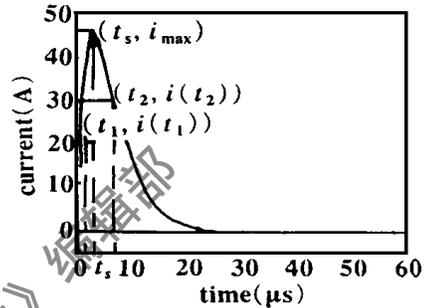


Fig. 6 The current response curve of the electrode

### 3 结 论

理论分析和实验结果表明, 将磁约束放电激励用于铜蒸气激光器不仅具有低温、低压、低气压的特点, 而且具有感抗较大(微亨量级)的特点, 这对于我们寻找适合于自终止激光器的激励电源, 实现铜蒸气激光器的运转具有指导意义。

#### 参 考 文 献

- 1 Razdan R, Capjack C E *et al.* J A P, 1985; 57(11): 4954~ 4961
- 2 Li J, Chen Q M, Zhang W *et al.* J Phys D: Appl Phys, 1996; 29: 1624~ 1631
- 3 Li J, Chen Q M, Li Z G. J Phys D: Appl Phys, 1995; 28: 1121~ 1125
- 4 陈清明, 周风晴, 李晓平 *et al.* 激光技术, 1995; 19(5): 261~ 263
- 5 Artemev' ev A Yu, Babeiko Yu A, Bakhtin O M *et al.* Soviet J Q E, 1980; 10(9): 1121

收稿日期: 1998-01-16

• 简 讯 •

### CMOS 摄像机

意大利特兰托 Neuricam S. R. I 公司提供一种 NC1001 型数字摄像机, 采用一片整体式 CMOS 图像传感器、模-数转换器和微信息处理机接口。该器件分辨率为  $256 \times 256$ , 方格像素, 逐行扫描操作, 单线数字存储和信息处理时钟同步, 探测速率可达 30fram e/s。该摄像机用 5V 电源, 电流小于 10mA。

(於祖兰 曹三松 供稿)