

具有介质电极的高频放电

丘军林

(华中理工大学激光研究所, 武汉, 430074)

摘要: 本文对具有介质电极的高频放电进行了讨论, 对频率、介电常数对放电的影响, 阻抗匹配等基本问题进行了探讨。

关键词: 介质电极 高频放电 阻抗匹配

High frequency discharge with dielectric electrode

Qiu Junlin

(Institute of Laser, HUST)

Abstract: The paper discusses high frequency discharge with dielectric electrode, emphasizing on the basic issues relating to the influence of frequency, dielectric constant on discharge and impedance match.

Key words: dielectric electrode high frequency discharge impedance match

一、引言

众所周知, 在放电空间存在着大量的电子和正离子, 在频率低于 3MHz 的交变电场作用下, 如果采用介质复盖电极, 则电子和正离子都不可能进入电极, 但是电能可以通过介质电极的电容耦合到放电区中去, 在放电区的电流密度是均匀和稳定的。采用介质电极, 在放电区中避免了等离子体和金属表面之间的直接接触, 由于这种介质电极不产生二次电子发射现象, 也不存在等离子体鞘和阴极位降区, 这是和直流激励十分不同的。

高频激励比直流激励具有很多优点, 例如可以省去占总功率消耗 1/3~1/4 的镇流电阻; 提高放电的均匀性及稳定性; 可以对其时间特性进行调制, 从而提高高功率气体激光器的稳定性和可靠性^[1]。而高频激励最重要的问题是如何正确选择电源频率和介质的介电常数, 以及如何使电源和负载有较好的阻抗匹配。

二、介电常数与电源频率的选择

介质电极结构如图 1 所示, 金属电极被介质所复盖, 电极中通冷却水, 介质电极间距离为 d , 介质厚度为 $t/2$ 。

当电极间接入高频电源并放电时, 其等效电路如图 2 所示, C_{EL} 为介质电极电容, R_{PL} 为等离子体电阻, C_p 为对箱体的电容 (或对地电容)。

介质的电容量为:

$$C_{EL} \approx \epsilon S / (3.6\pi t) \quad (1)$$

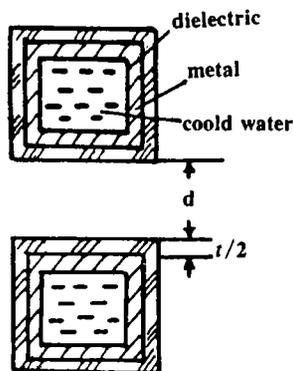


Fig. 1 Dielectric electrode structure

式中, ϵ 为介质介电常数, S 为电极表面积, t 为介质总厚度。

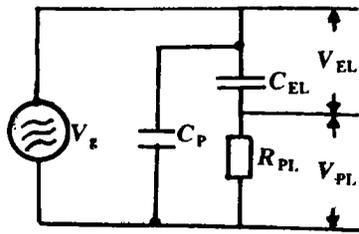


Fig. 2 Equifinal electric circuit of dielectric electrode
 C_{EL} - dielectric capacitor R_{PL} - plasma resistance C_P - capacity of the housing

而在介质电容上的电场强度为:

$$E_\epsilon = \frac{1.8I}{\epsilon S f} \times 10^{12} (\text{V/cm}) \quad (2)$$

式中, I 为经介质电容到放电区的电流(A), f 为高频电源频率(Hz)。

在介质电容上的电压降为:

$$V_{EL} = E_\epsilon t \quad (V) \quad (3)$$

在放电间隙的电压降为:

$$V_{PL} = E_0 d \quad (V) \quad (4)$$

式中, E_0 为放电间隙的电场强度, d 为放电间隙的距离。

显然易见,
$$\bar{V}_g = \bar{V}_{EL} + \bar{V}_{PL} \quad (5)$$

或
$$V_g = \sqrt{V_{EL}^2 + V_{PL}^2} \quad (6)$$

相位角为:
$$\varphi = \arctg \omega C_{EL} R_{PL} \quad (7)$$

为了避免介质电容中的电场进入放电间隙发生畸变或者由于较大的电位差而造成介质的击穿,我们要求:

$$E_\epsilon \approx E_0 \quad (8)$$

例如, $V_{PL} = 3\text{kV}$, $d = 3\text{cm}$, $E_0 = 1\text{kV/cm}$, 那么 E_ϵ 应取近似于 1kV/cm 。在电极表面积已定, 放电电流也已定的情况下, 由(2)式可知, 决定 E_ϵ 数值的参数则取决于介电常数 ϵ 和电源频率 f , 如果电极采用的介质也已定, 则就完全取决于 f 了。显然易见, ϵ 愈小, 则 f 愈高, 反之亦然。因此, 如果 ϵ 值比较小, 而又将 f 取得较低, 则会造成 $E_\epsilon \gg E_0$, 此时由于电场畸变并造成界面很高的电位差, 从而导致介质的击穿; 另一方面由于在介质电容上会产生很高的电压, 从而使无功功率大大增加, 造成高频电源功率因数降低, 增加了电源的容量, 同时对器件的绝缘水平也要相应提高, 这对器件设计是很不利的, 因此在使用介质电极时必须避免此种情况的发生。

三、阻抗匹配

采用介质电极的高频放电另一个重要问题是必须注意高频电源(或发生器)和电极间的阻抗匹配。在高频发生器和放电室之间需要加一个匹配网络, 如图3所示^[2]。这是高频发生器和负载的匹配网络, 这是一种共轭匹配, 其目的在于使高频发生器的输出功率得到最大值。

令 $Z_{mL} = Z_m + Z_L$, 则高频发生器传输给负载的功率^[2]为:

$$P = \frac{1}{2} R_{mL} \frac{|V_g|^2}{|Z_g + Z_{mL}|^2} = \frac{1}{2} R_{mL} \frac{|V_g|^2}{(R_g + R_{mL})^2 + (X_g + X_{mL})^2} \quad (9)$$

式中, $Z_g = R_g + jX_g$, $Z_{mL} = R_{mL} + jX_{mL} = (R_m + R_L) + j(X_m + X_L)$

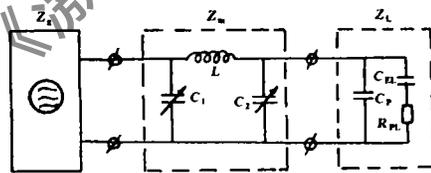


Fig. 3 Electric circuit of impedance match
 Z_g - output impedance of high frequency generator
 Z_m - output impedance of high frequency generator
 Z_L - load impedance

高功率 CO₂ 激光器换热性能的研究

韩晏生 李晓元

(华中理工大学, 武汉, 430074)

摘要: 高功率 CO₂ 气体激光器的换热性能好是器件长期稳定运行的关键环节之一。本文以板翅式热交换器为例阐明了热交换器的计算和设计方法。

关键词: 热交换器 混合气体 传热系数

Studies on heat exchange of high power CO₂ laser

Han Yansheng, Li Xiaoyuan

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: The performance of heat exchange is an essential technology to assure the long time stable work of high power CO₂ lasers. In this paper, the calculation of heat exchange and the design of radiator are described in detail, which use the radiators made of elliptical tubes with fins as examples.

Key words: radiator gas mixture heat-transfer coefficient

高功率 CO₂ 气体激光器的换热性能好是器件长期稳定运行的关键环节之一, 热交换器是激光器的重要组成部分。高功率 CO₂ 激光器在工业使用中往往还附加一个水冷装置。

由(9)式可以得出, 当等效输入阻抗与高频发生器输出阻抗互为共轭值时, 有:

$$Z_{mL} = Z_g^* \quad (10)$$

或 $R_{mL} = R_g, \quad X_{mL} = -X_g$

这时高频发生器的输出功率为最大值:

$$P_{max} = |V_g|^2 / 8R_g \quad (11)$$

关于高频发生器与负载间的阻抗匹配的实验研究可参考文献[3]。

四、结 论

1. 介质电容器上的电场强度应接近于放电间隙的电场强度, 即 $E_e \approx E_0$ 。
2. 在采用低介电常数的介质时, 必须采用较高的电源频率, 反之亦然。
3. 为了提高传输效率, 必须采用阻抗匹配网络, 使等效输入阻抗与高频发生器的输出阻抗互为共轭。

参 考 文 献

- 1 丘军林. 中国激光, 1994; 21(5): 377-381
- 2 Schock W, Hall Th, Wildermuth E *et al.* SPIE GCI., 1988; 1031: 76-81
- 3 王贤俊, 陈 涛, 丘军林. 激光技术, 1993; 17(5): 276-281