

# 放电泵浦 XeCl 激光器的阻抗测量及其对激光输出特性的影响

楼 祺 洪

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

何 麒 生

(华中工学院)

## 提 要

本文测量了用脉冲形成网络供电的 XeCl 激光放电的阻抗, 给出了 1~10 个大气压总气体压力下的阻抗特性。实验结果表明, 提高工作物质的总气压有利于脉冲形成网络与放电气体之间的阻抗匹配, 从而提高注入激光器的电能。另一方面, 由于高压下各种猝灭过程导致 XeCl(B→X) 跃迁荧光持续时间缩短。根据以上两个效应, 得到最佳工作总气压约为 4~6 个大气压。

自从稀有气体单卤素准分子激光于 1975 年问世以来, 已出现了各种准分子激光产品。从实际应用的角度来看, 提高激光器的效率是目前研究的重点之一。为了提高器件的总效率应尽量提高激光放电过程中注入气体的电能, 这涉及到电源阻抗与放电介质之间的阻抗匹配。本文首先测量了用脉冲形成网络供电的 XeCl 激光放电的阻抗, 给出不同工作气压下的阻抗特性。结果表明, 提高工作物质的总气压有利于阻抗匹配。另一方面, 实验测量了不同气压下的荧光强度及荧光持续时间, 得到荧光持续时间随工作气压提高而缩短的结果。

## 一、激光气体放电阻抗的测量

实验是用一个能工作于 10 个大气压以上的小型气体放电室, 用 X 光预电离技术使放电

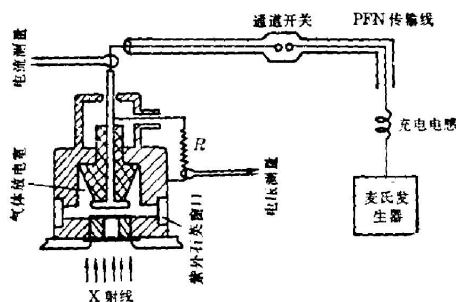


图 1 激光气体放电室及其实验装置

Fig. 1 Cross-section view of the laser gas discharge chamber and its experimental arrangement

区在 1~10 个大气压的范围内均能得到均匀的辉光放电。电极间距为 1cm, 放电体积为 2cm<sup>3</sup>。用电缆组成的脉冲形成网络供电, 由麦氏发生器对电缆脉冲充电, 通道开关的作用是使电压上升时间变陡。其装置的示意图如图 1 所示。

放电室最高能承受 20 个大气压, XeCl 激光工作混合气体为 Ne: Xe: HCl, 在全部实验过程中, 保持 Xe 和 HCl 的分压比为 10:1, 而 HCl 浓度的变化范围是 0.05~0.2%。气体首先在一个混气瓶内充分混合 15 分钟以上, 然后充入放电室以保证实验的重复性。采用脉冲形成网络供电,

放电电流是持续时间为 200 ns 的方波<sup>[1]</sup>, 可以近似为准稳态过程。本文首先测量这个准稳态过程的放电电极两端的电压  $V_{稳态}$ , 然后根据推广的欧姆定律, 计算稳态电流  $I_{稳态}$ 。最后计算稳态下的阻抗。

图 1 显示了脉冲放电过程的瞬态电压测量方法: 在待测电压两端并联上一个阻抗远大于气体放电阻抗的无感电阻  $R$ , 其阻值为  $1\text{k}\Omega$  量级, 在下面可以看到气体阻抗为  $10\Omega$  量级以下, 因此这个并联电阻的引入对整个待测电路的干扰可略去不计。用定标的罗柯夫斯基线圈测量到该回路上的电流为  $I(t)$ , 则待测电压值为  $V(t) = RI(t)$ , 这里忽略了引线和电阻的分布电感。

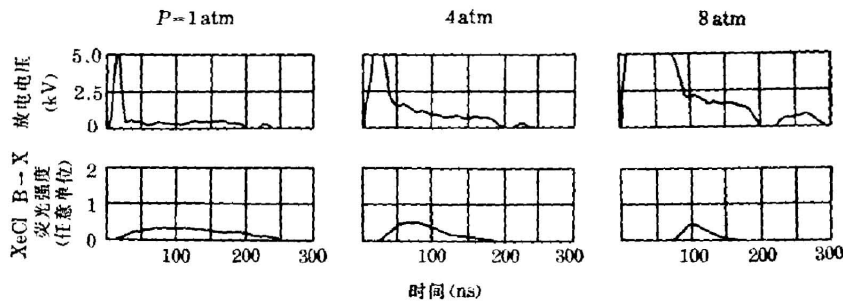


图 2 不同气压下的电压和荧光波形

Fig. 2 Waveforms of the discharge voltage and fluorescence intensity for different total gas pressures

图 2 给出三种不同气压下的  $V(t)$  示波图扫描。可以看到在低气压情况下, 有一个持续时间较长的准稳态放电区, 其持续时间与脉冲放电时间大致相同, 随着气压升高, 准稳态过程逐渐缩短, 这一点在下面要进一步讨论。图 2 同时给出了相应的荧光输出波形的扫描。它是用石英透镜将荧光聚焦于 ITT 4000 光电二极管接收的。可以看到只有在准稳态放电区才对应有强的荧光输出。因此, 在以下计算中, 采用对应荧光峰值区的电压  $V_{稳态}$  来计算放电区的特性阻抗。令麦克斯发生器对脉冲形成网络的充电电压为  $V_0$ , 根据推广的欧姆定律:

$$I_{稳态} = (V_0 - V_{稳态}) / Z_0$$

这里  $Z_0$  是脉冲形成网络的特性阻抗。根据以上结果得到

$$Z_{稳态} = V_{稳态} / I_{稳态}$$

图 3 给出在  $Z_0 = 12.5\Omega$ ,  $25\Omega$  和  $50\Omega$  时, 稳态特性阻抗随总气压变化的情况。曲线的纵坐标是气体放电的电阻率。随着工作气压的上升, 特性阻抗上升。

当脉冲形成网络的充电电压为  $V_0$  时, 其贮能为  $\frac{C}{2} V_0^2$ , 其中  $C$  为电缆的电容, 而注入激光器的电能为  $V_{稳态} \cdot I_{稳态} \cdot \Delta t$ ,  $\Delta t$  为电磁波在电缆中的双程传输时间  $\Delta t = 2\sqrt{LC}$ ,  $L$  为电缆的电感, 而  $Z_0 = \sqrt{L/C}$ 。在稳态条件下, 电效率为:

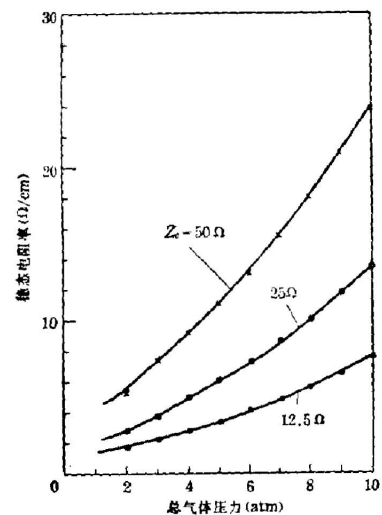


图 3 不同 PFN 传输线特性阻抗下, XeCl 激光气体放电的稳态电阻率

Fig. 3 The steady-state resistivity of XeCl laser gas discharge for different characteristic impedances of PFN transmission line

$$\eta = 4(V_{\text{稳态}}/V_0^2)(V_0 - V_{\text{稳态}}) \quad (1)$$

显然,当  $V_{\text{稳态}} = V_0/2$  时,  $\eta$  极大,它对应于放电阻抗等于脉冲形成网络的阻抗-阻抗匹配。事实上,很难得到真正的阻抗匹配,在选择实验参数时应尽量使放电阻抗与脉冲形成网络的阻抗接近。从这一点来看,提高工作物质的总气压有利于阻抗的接近。

## 二、荧光输出特性与脉冲放电时间的关系

上节分析了准稳态条件下气体放电的阻抗特性,但从图 2 可知随着工作气压的升高,放电过程的准稳态区逐渐变短,由此使荧光的持续时间也随气压上升而变短。在 1~2.6 大气压范围内 Levatter 等在 200 ns 脉冲放电下已获得激光脉冲长度为 200 ns 的 XeCl 激光输出<sup>[2]</sup>。但是由于各种猝灭效应,在工作气体压力升高以后,激光脉冲时间随气压的升高而减小。图 4 给出荧光持续时间随气压的关系曲线。它的主要结果是:

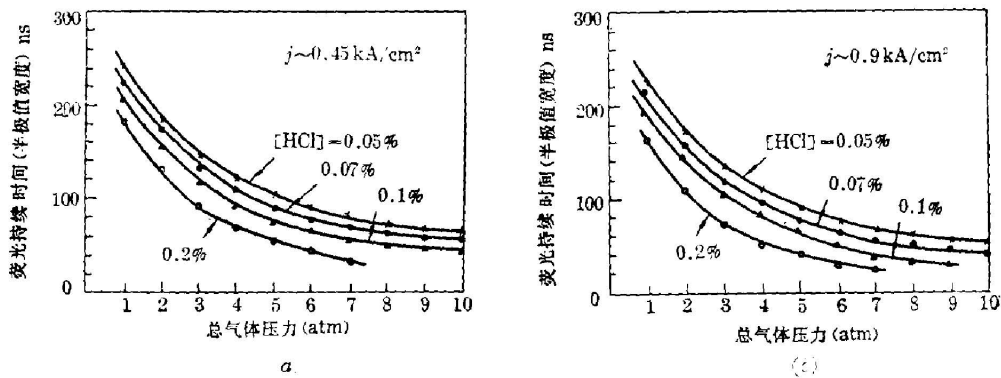
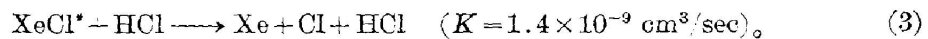
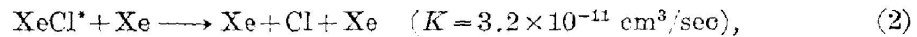


图 4 XeCl  $B \rightarrow X$  跃迁荧光持续时间与总气体压力的关系

Fig. 4 FWHM of XeCl  $B \rightarrow X$  fluorescence pulse as a function of the total gas pressure

1. 对于 Xe:HCl=10:1, HCl=0.05~0.2% 的变化范围内,随着工作总气压的升高,荧光持续时间的半极值宽度下降。从 1 个大气压到 4 个大气压,荧光持续时间的半极值宽度几乎缩短一倍,当气压继续升高时,荧光持续时间半极值宽度继续变短,但变化速率减小。

2. HCl 及 Xe 的浓度愈高,荧光持续时间的半极值宽度愈短。这可以用以下几种猝灭过程解释:



3. 电流密度愈大,荧光持续时间愈短。这一点可从图 4 的 (a) 及 (b) 两组曲线可以明显地看到。这里可以引入电子碰撞猝灭过程。这方面的速率常数尚未有公开报导,但从 HCl=0.2% 在电流密度为 450 A/cm<sup>2</sup> 及 900 A/cm<sup>2</sup> 的两条曲线以及同一电流密度下 HCl=0.2% 及 0.1% 两条曲线的对比中,可估计出电子猝灭过程  $\text{XeCl}^* + e \longrightarrow \text{Xe}^* + \text{Cl}^-$  的速率常数与 HCl 分子猝灭的速率常数接近,具有相同数量级。

从以上简要的讨论可见,为了提高供电效率不仅需要考虑阻抗匹配,还要考虑荧光持续

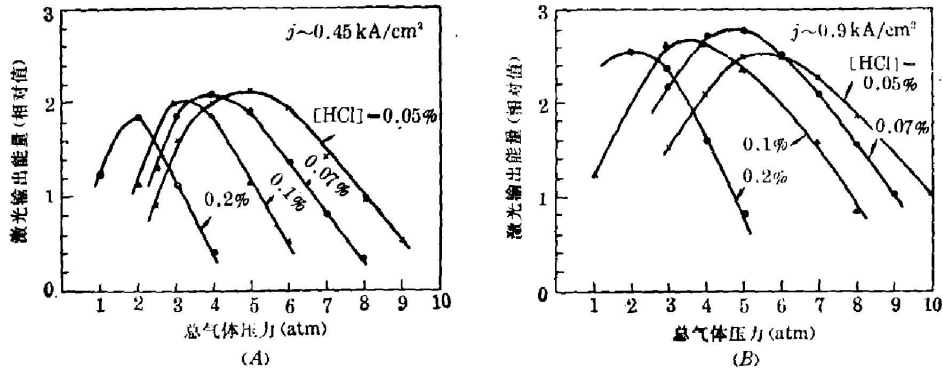


图5 激光输出能量与气体总压力的关系

Fig. 5 XeCl laser output energy as a function of the total gas pressure

时间与放电时间的匹配。在低气压工作区, 放电时间可适当拉长到 200 ns。为了提高工作气压, 同时提高效率, 必须适当的缩短放电时间。从实验结果及其分析来看, 当脉冲放电时间为 80~100 ns、工作气压为 4~6 个大气压时荧光持续时间与脉冲放电时间相匹配, 从而获得较强的激光输出及较高的效率。

图 5 给出两种电流密度下激光输出能量随工作气压的关系。在 4~6 个大气压范围内, 同时要求 HCl 浓度小于 0.1% 均可得到较强的激光输出。这些结果已被较大的器件所证实。Lin 等<sup>[4]</sup>的实验在 0.21 l<sup>3</sup>、脉冲放电时间为 70 ns 的器件中, 获得单脉冲能量为 1.2 J, 相应于每立升输出 6 J 左右, 工作气压在 5~6 个大气压。另外 Levatter 等根据以上参数, 用一台 X 光预电离的水介质传输线泵浦的 XeCl 激光器、最佳工作气压在 5 个大气压左右, 总效率达 2.7%<sup>[5]</sup>, 与本文实验分析结果一致。

## 参 考 文 献

- [1] Q. H. Lou, Q. S. He *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 6 (Spt), 514.
- [2] J. I. Levatter, K. L. Robertson *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**, No. 4 (Aug), 297.
- [3] T. G. Finn, R. S. F. Chang *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, No. 10 (May), 739.
- [4] S. C. Lin, Z. X. Bao *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 5 (Mar), 323.
- [5] J. I. Levatter; *Private Communication*.

## Impedance measurements of discharge XeCl laser and its effect on the characteristics of laser output

LOU QIHONG

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

HE QISHENG

*(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)*

(Received 28 February 1983)

### Abstract

The impedances of PFN transmission line driven discharge XeCl laser were measured from 1 to 10 atmospheres total gas pressure. The experimental result shows that the increasing of total gas pressure can improve the impedance matching between PFN and gas discharge and increase the energy deposited in gas discharge. On the other hand, the fluorescence duration of XeCl  $B \rightarrow X$  transition is reduced by various quenching processes at high gas pressure. According to these two effects, the optimum total gas pressure for discharge XeCl laser is about 4~6 atmospheres.