

# 气体激光器电子温度的实验研究

王玉芝 谢培良 董景星 冯炳芳

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用双探针测定了平均电子温度。研究了添加  $N_2$ 、He、Xe 以及放电电流、气压对电子温度的影响。

## Experimental investigation of electron temperature in gas lasers

Wang Yuzhi Xie Peiliang

Dong Jingxing Feng Bingfang

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

**Abstract:** The average electron temperature has been measured by using a double probe. The influence of the addition of  $N_2$ , He, Xe, and that of discharge current, gas pressure on the electron temperature were studied.

我们用双探针法测量气体激光放电管内的电子温度和电子密度等参数。所研究的激光器,腔长为106厘米,放电长度为96厘米,直径1.5厘米,水冷,镀金全反镜曲率半径500厘米,输出端为镀增反膜锗片,对10.6微米反射率为94%,对5~6微米的反射率为60%。双圆柱探针直径0.25毫米,长2毫米,离电极10厘米,处于辉光放电的正柱区。实验装置如图1所示。

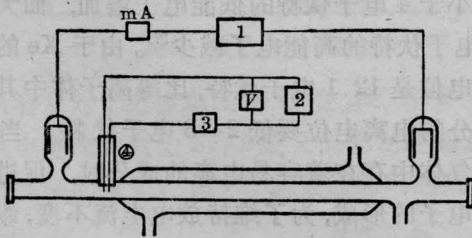


图1 双探针法测量气体激光器平均电子温度的实验装置

1—高压稳流电源; 2—高稳定度可变电源;  
3—0.5级微安表; 4—双探针

## 一、CO<sub>2</sub> 激光器

对于CO<sub>2</sub>激光器,由双探针测得的V-I特性曲线如图2所示。

等离子体的电子温度 $T_e$ 为<sup>[1]</sup>:

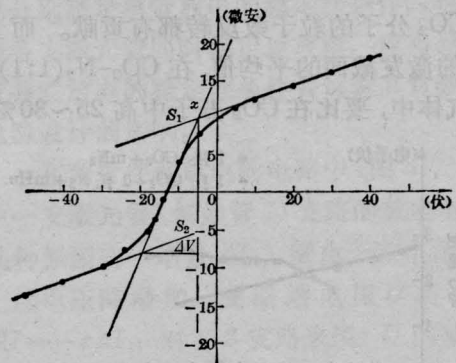


图2 CO<sub>2</sub>激光器双探针的V-I特性曲线  
CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He(1:1:8), 总压7托, 放电电流12.5毫安,  
放电电压11千伏, E/P=16伏/厘米·托

收稿日期: 1979年8月21日。

$$T_e = \frac{\Delta V}{4} \times \frac{1 - 0.85S/X}{1 + 0.5S/X}$$

其中  $S = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)$ , 而  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $X$  分别为图 2 中三条直线的斜率,  $\Delta V$  为  $S_1$ 、 $S_2$  与  $X$  交点之间的探针电压。得到的如图 2 所示工作条件下,  $\text{CO}_2$  激光器等离子体电子温度为 2.85 电子伏特。由电子温度可求得电子密度约为<sup>[2]</sup>  $n_e = 8 \times 10^9 / \text{厘米}^3$ 。

我们在  $\text{CO}_2$  激光器中测量了各种气体组分、总气压、放电电流对电子温度的影响。

### 1. $\text{N}_2$ 和 He 气对 $\text{CO}_2$ 激光器 $T_e$ 的影响

在  $\text{CO}_2$  激光器中添加  $\text{N}_2$  气或 He 气, 特别是 He 气, 可以使激光输出功率提高几个量级, 有人从测量能级的弛豫时间及弛豫速率来研究<sup>[3~5]</sup>, 也有人从测量电子温度、电子密度这些等离子体参数, 来研究掺杂气体对激光输出的影响<sup>[6, 7]</sup>。我们用双探针法, 测量了  $\text{CO}_2$  激光器中  $\text{N}_2$  和 He 对电子温度的影响, 其结果如图 3。

由图 3 可见, 当放电电压为 10 千伏, 放电电流为 15 毫安, 在 1 托纯  $\text{CO}_2$  中, 加入少量  $\text{N}_2$  气, 平均电子温度显著下降, 由 2.7 电子伏特降到 1.8 电子伏特。此时, 伴随着激光输出功率的明显增加。我们知道, 在  $\text{CO}_2$  与  $\text{N}_2$  的混合气体中,  $\text{N}_2$  的头 8 个振动能级对  $\text{CO}_2$  分子的粒子数反转都有贡献。而且,  $\text{N}_2$  的激发截面的平均值, 在  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ (1:1) 混合气体中, 要比在  $\text{CO}_2$  分子中高 25~30%。

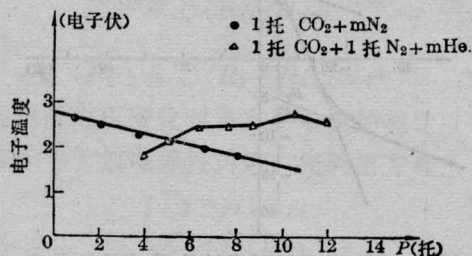


图 3  $\text{N}_2$ 、He 对  $\text{CO}_2$  激光器  $T_e$  的影响

在 1 托  $\text{CO}_2$  与 1 托  $\text{N}_2$  的混合气体中, 连续加入 He 气, 保持放电电流为 12.5 毫安,

放电电压约为 11 千伏。测得平均电子温度略有上升。从 1.9 电子伏特升为 2.4 电子伏特, 而激光功率有所增强。其原因是 He 加入到  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$  的混合气体中后, 改变了电子能量分布, 它增加了具有较高能量的电子<sup>[8]</sup>。我们在实验中也观察到, He 气的加入使纵向电场增加。

### 2. Xe 对 $\text{CO}_2$ 激光器 $T_e$ 的影响

图 4 给出了在放电电流为 12 毫安, 放电电压约为 10 千伏的条件下, Xe 对  $T_e$  的影响。

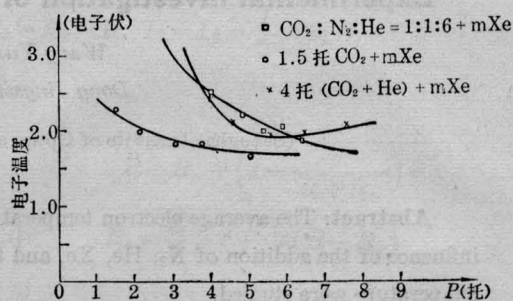


图 4 Xe 对  $\text{CO}_2$  激光器  $T_e$  的影响

由图 4 可见, 不论是在 1.5 托的纯  $\text{CO}_2$  中加入 Xe 气, 或在 4 托 ( $\text{CO}_2$ +He) 中加入 Xe 气, 还是在  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ -He 保持固定比例条件下加入 Xe 气, 均使电子温度下降。

实验表明, 在  $\text{CO}_2$  激光器中添加 Xe 气, 可以相当大地提高输出功率和效率<sup>[7]</sup>, 并且可以延长激光器的寿命。Xe 的加入产生上述效应的原因之一是它对等离子体的影响。因为加入 Xe 将明显地改变电子能量的分布, 使小于 4 电子伏特的低能电子增加, 而大于 4 电子伏特的高能电子减少<sup>[7]</sup>。由于 Xe 的电离电位是 12.1 电子伏特, 比等离子体中其它成分的电离电位要低 2~3 电子伏特。当混合气体中存在着容易电离的成分时, 促进了新电子的形成, 为了维持放电电流不变, 纵向电场降低, 因此, 降低了电子的平均能量。但电子密度将有增加, 输出激光也有增加。加 Xe 后纵向电场的降低, 也在我们的实验中被证实。

### 3. 总气压 $P$ 对 $\text{CO}_2$ 激光器 $T_e$ 的影响

在  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$  三种气体的比例固定不变, 放电电流 12.5 毫安, 放电电压 11 千伏均不改变的条件下, 我们测量了总气压对电子温度的影响, 如图 5。

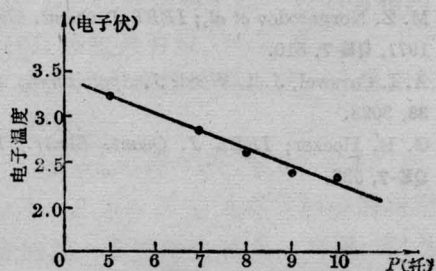


图 5 总气压  $P$  对  $\text{CO}_2$  激光器  $T_e$  的影响

由图 5 可见, 在  $\text{CO}_2\text{:N}_2\text{:He}$  为 1:1:8, 总气压 5~10 托时, 有较强的激光输出, 而电子温度却从 3.3 电子伏特降到 2.3 电子伏特。

根据混合气体比可知, 当总气压由 5 托增加到 10 托时,  $\text{N}_2$  的含量从 0.5 托增加到 1 托。而  $\text{He}$  的含量从 4 托增加到 8 托。前面的测量表明: 在 1 托的  $\text{CO}_2$  中加入 0.5~1 托的  $\text{N}_2$ , 使得电子温度有较快的下降。而在 1 托  $\text{CO}_2$  与 1 托  $\text{N}_2$  的混合气体中, 加入  $\text{He}$  气, 电子温度略有上升。所以, 总的效应是, 电子温度随气压的升高而降低。同时, 由于气压的升高, 电子与中性粒子碰撞几率增加, 因而平均电子能量也将减少。

### 4. 放电电流对 $\text{CO}_2$ 激光器 $T_e$ 的影响

在  $\text{CO}_2\text{:N}_2\text{:He}$  为 1:1:8, 总气压 6 托,  $E/P=17$  伏/厘米·托时, 测得了放电电流对电子温度的影响。

由图 6 可以看出, 当放电电流小于 13 毫

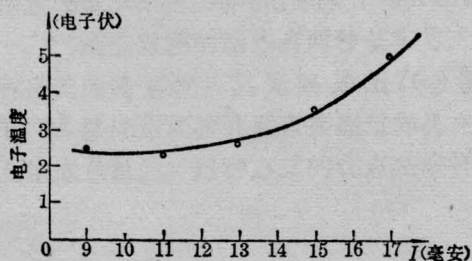


图 6 放电电流对  $\text{CO}_2$  激光器  $T_e$  的影响

安时, 电子温度基本上不随放电电流的变化而改变, 如果继续增加放电电流, 电子温度有较快的增加。

## 二、CO 激光器

实验结果表明, 在增益长度为 96 厘米, 锗晶片对 5~6 微米波长的反射率为 60% 时, 获得了室温  $\text{CO}$  激光输出。我们用一片厚 3 毫米的抛光红宝石片作为滤光片, 滤掉了 10.6 微米的  $\text{CO}_2$  激光后, 用红外感光板-液晶, 测量  $\text{CO}$  激光输出。

在  $\text{CO-Xe-He}(1:2:20)$  总气压 15 托, 放电电流 8 毫安, 放电电压 13.5 千伏, 即  $E/P=9$  伏/厘米·托的条件下, 测得电子温度为 2.01 电子伏特, 电子密度约为  $3 \times 10^{19}$ /厘米<sup>3</sup>。

我们在  $\text{CO}$  激光器中测量了  $\text{He}$  气对  $T_e$  的影响。

由图 7 可见, 在  $\text{CO}$  与  $\text{Xe}$  的混合气体中, 逐渐加入  $\text{He}$  气, 而保持放电电流不变时, 电子温度略有降低, 由 2.6 电子伏特降为 2 电子伏特。

同时, 我们也测量了  $\text{Xe}$  气对  $T_e$  的影响, 如图 8。

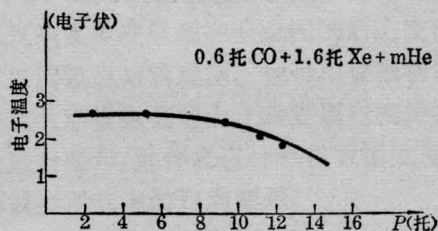


图 7  $\text{He}$  气对  $\text{CO}$  激光器  $T_e$  的影响

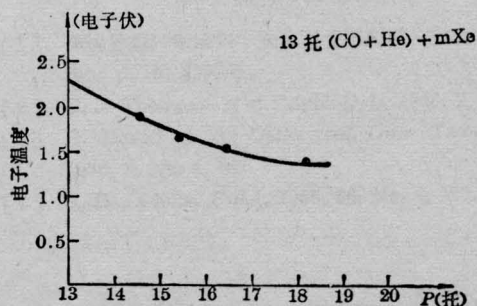


图 8  $\text{Xe}$  气对  $\text{CO}$  激光器  $T_e$  的影响

图8所示,在CO与He的混合气体中,加入Xe气,使电子温度下降。有人认为,Xe对CO激光器的作用,与它对CO<sub>2</sub>激光器的作用是一样的。它改变了等离子体中电子能量的分布,增加了有效激发CO振动能级的慢电子数,减小了快电子数<sup>[10]</sup>。

### 参 考 文 献

[1] P. R. Mossack, M. G. Rusbridge; *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, 1978, **11**, 653.  
 [2] 卢鹤跋等;《受控热核反应》。  
 [3] C. K. N. Pate; *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **13**, 617.  
 [4] G. Moeller, J. D. Kigden; *Appl. Phys. Lett.*,

1965, **7**, 274.  
 [5] C. K. N. Patel, P. K. Tien, J. H. Mobe; *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **7**, 290.  
 [6] P. O. Clark, M. R. Smith; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, 369.  
 [7] P. O. Clark, J. Y. Wada; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, 263.  
 [8] M. Z. Norgorodov *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1971, **QE-7**, 510.  
 [9] A. I. Carswel, J. I. Wood; *J. Appl. Phys.*, 1967, **38**, 3028.  
 [10] G. B. Hocker; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1971, **QE-7**, 535.

