

### 三、测试结果

测试用的激光器波导尺寸是  $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ , 激励电源频率是  $35.8\text{ MHz}$ , 气体配比  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Xe}=1:0.3:4.2:0.2$ 。在总气压分别为  $68\text{ Torr}$ 、 $97\text{ Torr}$ 、 $110\text{ Torr}$  和  $130\text{ Torr}$  的条件下, 测量了激光输出功率与高频输入功率的关系, 并观察了谱线、模式和偏振方向。测试结果示于图 3。

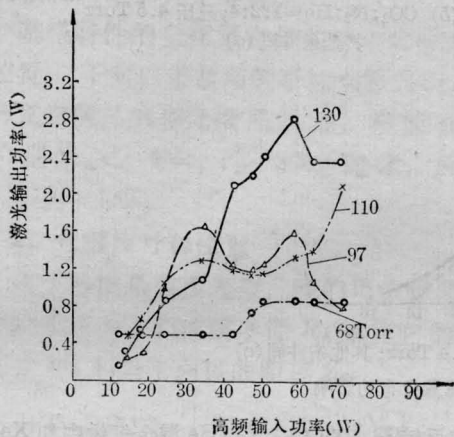


图 3 激光输出功率与高频输入功率的关系

观察结果表明: 激光器振荡在  $00^{\circ}1 \sim 10^{\circ}0$  振转跃迁的  $P$  支基模上, 偏振方向平行于电极表面。

### 参 考 文 献

- [1] T. J. Bridges *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1972, **20**, No. 10, 403.
- [2] D. R. Hall *et al.*; *J. Phys. D; Appl. Phys.*, 1978, **11**, No. 6, 859.
- [3] G. M. Carter, S. Marcu; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 2, 129.
- [4] J. L. Lachambre *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, No. 10, 625.
- [5] А. Е. Бакарев; *Кван. электр.*, 1980, **7**, №2, 430.
- [6] P. P. Chenausky *et al.*; *CLEOS*, 1980.
- [7] С. П. Вольская, А. Ф. Целыковский; *Кван. электр.*, 1981, **8**, №5, 1116.
- [8] L. V. Sutter; *Opt. Eng.*, 1981, **20**, No. 5, 769.
- [9] G. Allcock, D. R. Hall; *Opt. Commun.*, 1981, **37**, No. 1, 49.

(北京真空电子器件研究所 齐桂云  
于世彭 曹余黎 虞 钢 韩 涌  
1984 年 1 月 31 日收稿)

## 激光对 $\text{CO}_2$ 激光器中电子能量分布的影响

**Abstract:** In this paper, the influence of lasing on the electron energy distribution in  $\text{CO}_2$  lasers is studied by means of the second derivative of the probe current. It has been shown that the influence of lasing appears around  $2.5\text{ eV}$ .

Nighan<sup>[1]</sup>利用已知的电子-分子碰撞截面数据, 计算了在  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$  混合气体中的电子能量分布函数, 同时研究了电子的跃迁速率, 在此基础上研究了电子-分子能量变化过程与激光的关系。他的结论是激光对电子能量分布影响不大。但是, Bletzinger<sup>[2]</sup>得出了相反的结论, 他在  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$  混合气体放电实验中观察到了激光对电子能量分布的烧蚀效应。尔后 Avivi<sup>[3]</sup>用置于等离子体中的电探针的伏安特性曲线, 研究了激光对电子能量分布的影响。实验结果表明在 2 电子伏附近, 激光使电子能量分布曲线产生明显的变化。本文采用探针电流的两次导数法测量了  $\text{CO}_2$  激光器中激光对电子能量分布的影响。

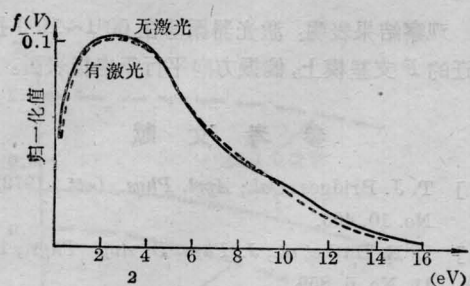
Drungjvesteir<sup>[4]</sup>给出了电子能量分布与探针电

流二次导数的关系, 即:

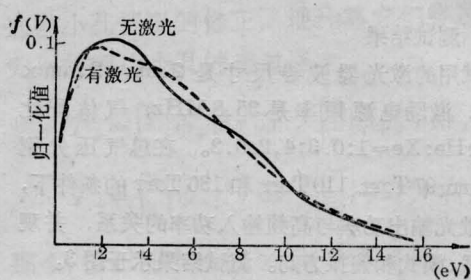
$$f(V) = \frac{2}{eA} \left( \frac{2mV}{e} \right)^{1/2} \frac{d^2i}{dV^2}$$

式中  $A$  为探针表面积,  $e$ 、 $m$  分别为电子的电荷与质量,  $V$  为相对于等离子体电位的探针电位 ( $V = V_a - V_p$ ,  $V_p$  是探针所处的等离子体区到参考电极的电压,  $V_a$  是实验加在探针上的电压),  $\frac{d^2i}{dV^2}$  为探针电流的两次导数。用探针法测量等离子体中的电子能量, 其误差  $< 20\%$ 。

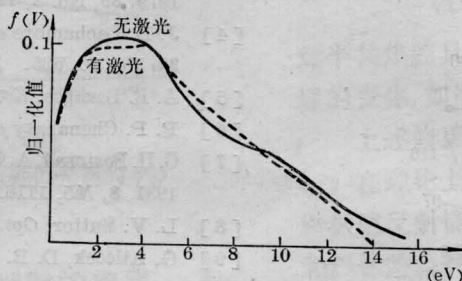
当在探针电压上叠加一个小振幅正弦电压时, 探针电流对电压的二次导数与探针电流的二次谐波成正比。实验用选频放大器和相敏检波器从各种谐波中取出两次谐波。为了保证测试精度, 所加的正弦电压不能很大, 一般在  $0.2 \sim 0.3\text{ V}$ 。以多次重复



(a)  $\text{CO}_2:\text{He}=1:3$ ; 总压 4 Torr  
 $V=5000\text{ V}$ ;  $E/N=1.1\times 10^{-15}\text{ V}\cdot\text{cm}^2$



(b)  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:2:4$ ; 总压 4.5 Torr  
 其他条件同(a)



(c)  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Xe}=1:2:4:1$ ; 总压 3.4 Torr; 其他条件同(a)

图 激光对  $\text{CO}_2$  激光器中电子能量分布的影响

取平均值得出二次谐波变化曲线。

实验用激光器长 400 mm, 内径 3 mm, 总气压 2~5 Torr, 放电电压 5000~8000 V。探针为直径 0.1 mm 的钨丝, 置于辉光放电的正柱区。为了避免过高的放电电压对探针空间电压的影响, 我们尽量降低了工作气压, 这会使激光器在非最佳状态下工作。实验测量了在没有激光输出时电子能量的分布如图。图中的纵坐标为归一化值。

从图中可以看出, 即使在激光输出不太强的条件下, 有无激光时电子能量的分布曲线仍然有些差别。在条件(a)中, 由于不存在  $\text{N}_2$ , 因此差别不明显; 而在(b)、(c)的条件下, 均看到激光对低能电子的影响, 在 2.5 eV 附近, 曲线均有下凹。而对电子密度  $n_e = \int_0^\infty f(V)dV$  有、无激光时差别不大。在  $\text{CO}_2$ 、He、 $\text{N}_2$  的混合气体放电中, 激光对电子能量分布的影响可以认为<sup>[2,3]</sup>, 在产生激光振荡的条件下,  $\text{N}_2$  分子的振动激发态的能量向  $\text{CO}_2(00^01)$  能级转移的几率增加, 这种增加消耗掉处于振动激发态的  $\text{N}_2$  分子。这就是说, 有激光时  $\text{N}_2$  的基态( $\nu=0$ )的粒子数比没有激光时增加。又由于电子与  $\text{N}_2(\nu=0)$  分子的非弹性碰撞截面大, 基态过多的粒子与电子碰撞的结果, 导致了一定能量范围的电子耗损增加。因而在 2.5 电子伏左右曲线出现下凹, 其影响至少可以到 4 电子伏, 这说明这一部分能量的电子参与了粒

子数反转<sup>[2]</sup>。在  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、He 混合气体中加 Xe 后, 由于 Xe 的电离电位低, 因而增加了等离子体中的低能电子, 这样就可以部分补充激发  $\text{N}_2(\nu=0)$  分子所消耗的低能电子, 所以在曲线(c)中出现的下凹减少。

从激光对  $\text{CO}_2$  混合气体中电子能量分布的影响可以看到,  $\text{CO}_2$  激光器的增益饱和虽然与各种因素有关, 但电子能量分布的影响是主要的。在电子密度一定的条件下, 利用改变气体成分, 以提高等离子体中低能电子数, 对提高增益饱和和系数有好处。当然, 在激光输出远离增益饱和时, 这种影响可以不予考虑。

## 参 考 文 献

- [1] W. L. Nighen, J. H. Bennet; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, No. 8, 240.
- [2] P. Bletzinger, A. Garscaden; *Phys. Lett.*, 1969, **29A**, 265.
- [3] P. Avivi *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1971, **42**, 5551.
- [4] J. D. Swift, M. J. R. Schwarz; *Electrical Probes for Plasma Diagnostics*, London Iliffe Books LID, 1970.
- [5] 谢培良等;《中国激光》, 1983, **10**, No. 3, 140.

(中国科学院上海光机所 董景星 王玉芝  
 谢培良 1984年3月14日收稿)