

# 输出功率不随氮比气压而变的无水冷 CO<sub>2</sub> 激光器

黄永楷\* 徐竞熙 C. A. Massone

(巴西里约热内卢付留明宁舍联邦大学物理所光谱与激光实验室)

**摘要:** 本文研究证明, 无水冷高氮比气压 CO<sub>2</sub> 激光器在选择适当的总气压下, 其输出功率几乎不随氮气浓度而变。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光器, 高氮比, 无冷却套

## Output power constancy of a high nitrogen partial pressures carbon dioxide laser with variable total pressures

Y. K. Wang, K. H. Tsui, C. A. Massone

(Spectroscopy and Laser Laboratory, Instituto de Fisica, Universidade Federal Fluminense, CP 100296, Niteroi, CEP 24020 RJ, Brazil)

**Abstract:** It is shown that a high nitrogen partial pressure carbon dioxide laser without water cooling can be operated at any nitrogen concentration and the output power can be kept almost constant by selecting an appropriate total pressure for a given mixture.

**Key words:** CO<sub>2</sub> laser, high nitrogen partial pressure, without cooling jacket

目前直流放电 CO<sub>2</sub> 激光器的研究与发展似乎已相当成熟<sup>[1]</sup>, 大量的工作已转向射频激发、高比功率输出和大孔径定标方面<sup>[2]</sup>。对于直管 CO<sub>2</sub> 激光器, 普遍采用的标准体制是低氮比混合气体, 如 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He 之比为 1:1:8 或 1:2:7, 和水冷套结构。然而不尽如此, 这类器件的研究又有了新的进展。作者们最近报道了一种无水冷、高氮比 CO<sub>2</sub> 激光器的新体制<sup>[3]</sup>, 其含氮比  $x$  已大于 4 以上 (1(CO<sub>2</sub>): $x$ (N<sub>2</sub>):8(He))。另外, 作者们还研究了总气压为 5 mb 时 CO<sub>2</sub> 激光器输出功率随混合气体比气压而变的类共振特性 ( $12 \leq x \leq 16$ )<sup>[4]</sup>。本文进一步报道最新的研究结果, 即在允许调节总气压的条件下, 这类 CO<sub>2</sub> 激光器的输出功率和效率几乎不随氮比分而变, 这一特性为无水冷 CO<sub>2</sub> 激光器的应用带来了更多的方便。

### 一、实验与结果

CO<sub>2</sub> 直流放电管的管长为 75 cm, 内径为 14.1 mm, 两端贴有布氏角的 NaCl 窗片。共振

收稿日期: 1990年2月5日。

\* 来自中国科学院上海光机所的访问学者。

腔由一涂金全反凹面镜(直径 5 cm, 曲率半径 5 m)和一反射率为 85% 的平板镜组成, 激光输出功率用一 Coherent Radiation 262 型功率计检测。

为了测定等离子体的电子密度, 我们在放电管的 1/3 处插入一 Langmuir 探针。探针的顶部与放电管的内表面齐平, 这样测得的是放电柱边缘的电子密度。实验中所用的混合气体是按 1(CO<sub>2</sub>): $x$ (N<sub>2</sub>):8(He) 的比例配制的。图 1 示出了电子密度 ( $n_e$ ) (○线)、总气压 ( $P$ ) (·线) 与  $x$  的关系曲线。图 2 示出了激光效率  $\eta$  与不同  $x$  的关系曲线, 图中同时标出了放电电流 ( $I$ )、总气压 ( $P$ ) 和电子密度 ( $n_e$ ) 的测量值。图 3 示出了激光功率 ( $W$ ) 与  $x$  的关系曲线。

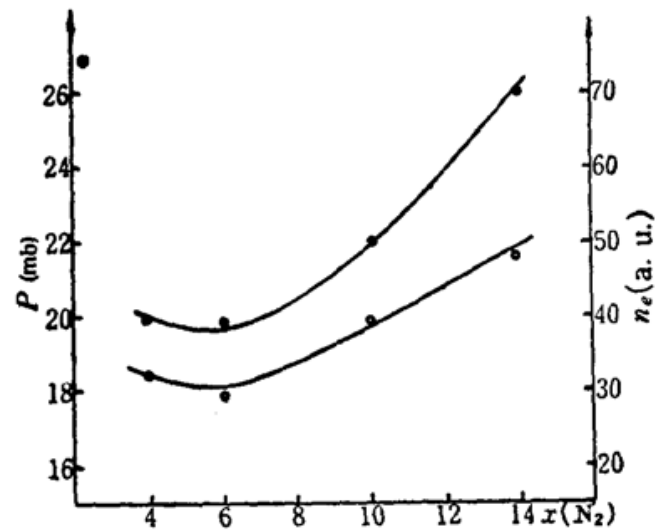


Fig. 1

从图 2 和图 3 可以看出, 无水冷、高氮比 CO<sub>2</sub> 激光器的输出功率和效率在允许总气压可调时几乎不随  $x$  改变而改变。应当指出的是, 这里得到的功率与效率并不是这种激光器的最佳值, 它还可以通过改进腔的匹配和其它参数而得到进一步提高。

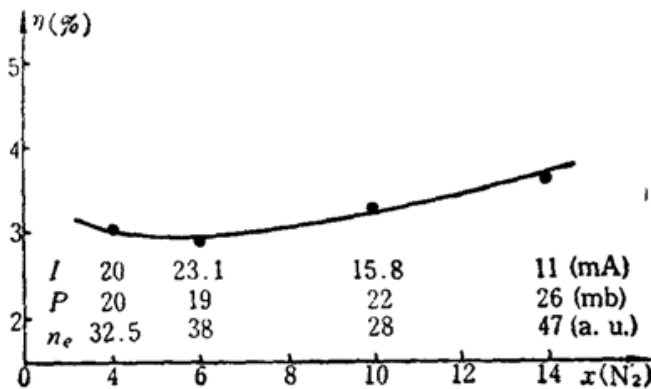


Fig. 2

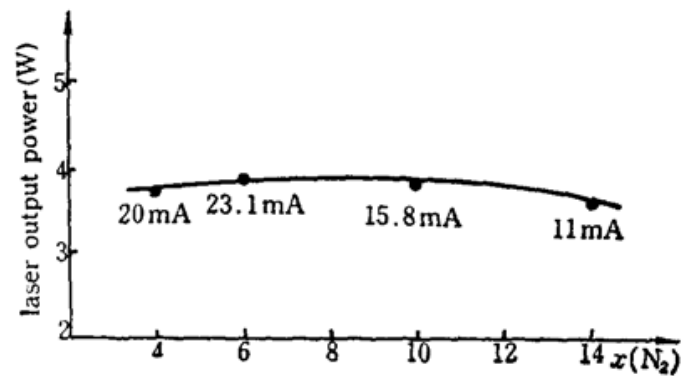


Fig. 3

## 二、讨 论

从上述结果可以看出, 这类 CO<sub>2</sub> 激光器的操作是特别方便的: (1) 它不需要任何附加冷却系统; (2) 可在任何氮气比下操作, 其输出功率和效率几乎不变, 这样, 我们不但可以避免在制作和使用过程中的不少麻烦, 而且还可扩大 CO<sub>2</sub> 激光器的应用领域。

为了从理论上说明这种激光输出功率不随氮比分  $x$  而变的工作特性, 现在我们从速率方程出发来讨论这一问题。设  $n_1$ ,  $n_2$  分别为 CO<sub>2</sub> 激光上、下工作能级的集居数密度,  $n_0^*$  为激发了的氮分子密度, 于是有

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = -R_1 n_1 + \beta n_2 + \gamma n_0^* e^{-E_1/kT} \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_2}{\partial t} = R_1 n_0^* - \beta n_2 - n_2/\tau_2 \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_x^*}{\partial t} = R_x n_x - n_x^* / \tau_x \quad (3)$$

式中  $n_0$ ,  $n_x$  分别为  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$  的总密度,  $\beta$  为激光上能级自发辐射和受激辐射速率之和,  $\gamma$  为热布居速率,  $\tau_2$ ,  $\tau_x$  分别为  $n_2$  和  $n_x^*$  的弛豫时间,  $R_1$  为  $n_1$  的碰撞损失速率,  $R_t$  为氮分子对  $\text{CO}_2$  分子的共振转移速率,  $R_e$  为氮分子的电子碰撞激发速率,  $E_1$  为  $\text{CO}_2$  激光上、下能级的能量差, 它等于  $0.58 \text{ eV}$ 。在稳态时, (1)到(3)的微分为零。由于(1)式中的  $\gamma$  项和(2)式中的  $\beta$  项相对于其它项来说很小, 我们将它们略去, 并令  $n_x = x n_0$ , 于是, 反转集居数可写成

$$\Delta n \equiv (n_2 - n_1) = \left(1 + \frac{\beta}{R_1}\right) R_t \tau_2 R_e \tau_x x n_0 \quad (4)$$

我们发现: (1)  $\Delta n$  正比于  $n_0$ , 因而正比于总气压  $P = n_0 k T (1 + x + 8)$ ; (2)  $\Delta n$  正比于氮分子浓度  $x$ ; (3)  $\Delta n$  正比于  $\tau_2 \tau_x$ ; (4) 式中的其它因子可以看成是常数。由于气体温度随总气压升高而上升<sup>[5]</sup>, 在我们的情况下, 这就意味着它随氮比气压的上升而升高, 氮比气压将随之而减小。

为了证明激光输出功率  $W \propto \Delta n h \nu$  的变化情况, 我们取  $\Delta n$  的变分, 于是有

$$\frac{\delta \Delta n}{\Delta n} = \frac{\delta x}{x} + \frac{\delta n_0}{n_0} - 2 \frac{\delta P}{P}$$

这里,  $n_0$  的变分可以用  $P$  和  $x$  来表示, 即

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{\delta n_0}{n_0} + \frac{\delta x}{x+9}$$

于是得

$$\frac{\delta \Delta n}{\Delta n} = \frac{\delta x}{x} - \frac{\delta x}{x+9} - \frac{\delta P}{P} \quad (5)$$

由于(5)式右边各项为同一数量级, 我们取实验平均值, 即  $\langle x \rangle \simeq 10$ ,  $\langle P \rangle \simeq 20$ ,  $\delta x \simeq 5$ ,  $\delta P \simeq 5$ , 于是  $\frac{\delta \Delta n}{\Delta n} \simeq 0$ 。于是, 便从理论上解释了由图 2 所示的实验结果。

结论是, 无水冷  $\text{CO}_2$  激光器, 当氮气比  $x \geq 4$  后, 其输出激光功率几乎不随氮比分而变。这对于开发新型  $\text{CO}_2$  激光器和开辟新的应用领域看来是有意义的。

这一工作是在巴西国家科学技术委员会(ONPq)、巴西计划研究基金会(FINEP)和里约州科学研究基金会(FAPER)资助下完成的

### 参 考 文 献

- 1 C. S. Willett, Introduction to Gas Lasers: Population Inversion Mechanisms, International Series on Monograph in Natural Philosophy, Pergamon Press, New York, 1974, Chapter 6
- 2 P. E. Jackson, H. J. Baker *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **54**, 1950(1989)
- 3 A. F. da Costa, K. H. Tsui *et al.*, Partial Pressure Scaling Law of  $\text{CO}_2$  Laser Efficiency, *Appl. Phys.*, **B51**, 227 (1990)
- 4 P. A. D. Zanon, Y. K. Huang *et al.*, Experimental Analysis of a High Nitrogen Partial Pressure Carbon Dioxide Laser, *Opt. Commun.*, **76**, 350(1990)
- 5 A. G. Sviridov, N. N. Sobolev *et al.*, *JETP Lett.*, **6**, 62(1967)