

高效率横向电激励连续 CO<sub>2</sub> 激光器的研究

刘东华 韩晏生 李 锋 李再光

(武汉华中工学院激光研究所)

**提要:** 报道一种工业用高气压封闭形横向电激励二千瓦级连续 CO<sub>2</sub> 激光器。连续运行 13 小时, 输出功率高于 2.3 kW, 能量转换效率大于 17%。研究了放电特性、输出特性; 测量了在不同放电条件下的电子温度和电子浓度。

Study on efficient transverse electric excitation CW CO<sub>2</sub> laser

Liu Donghua, Han Yanseng, Li Feng, Li Zaiguang

(Laser Institute, Huazhong University of Science and Technology)

**Abstract:** A high pressure transverse electric excitation sealed-off 2 kW CW CO<sub>2</sub> laser with high efficiency for industrial use has been developed. Its output power is over 2.3 kW with an energy conversion efficiency of higher than 17% during the continuous operation of 13 hrs.

The discharge and output power characteristics have been investigated and the electron temperature and density have been measured under various discharge conditions.

## 一、总体结构

目前, 流动式电激励大功率连续 CO<sub>2</sub> 激光器的总体结构形式主要有两种:

一种是轴流式, 它是一种管式结构; 另一种是横流式, 它是一种箱式结构。后者气流方向与激光方向、放电方向相互垂直。这种方式散热效果最好, 有利于激光器朝大功率、高效率的方向发展<sup>[1]</sup>。

本激光器采用了三轴正交式总体结构。它是由封闭箱体、谐振腔、压气机、热交换器、充、排气装置及高压电源等部分组成。

图 1 是激光器主体外貌。主体部分是一个由不锈钢制成的箱体, 其内部结构如图 2

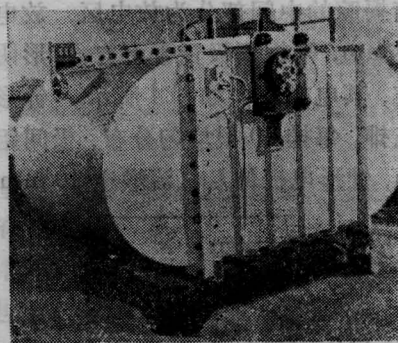


图 1 激光器主体外貌

所示。箱体内部装有谐振腔、压气机和热交换器等部件。

主体部分的密封性能良好, 真空度可抽到  $10^{-2}$  Torr 以上, 气体封存时间可超过 500

收稿日期: 1985 年 11 月 19 日。

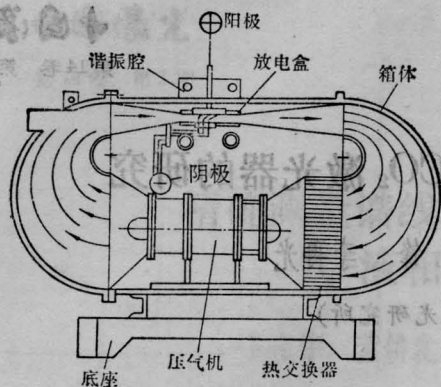


图2 激光器的主体结构示意图

小时, 平均每天漏气量和内部材料放气量约为 0.27 Torr。

谐振腔装在横跨箱体的光桥上, 两端分别安有全反射镜和输出镜, 采用波纹管与箱体隔离, 如图 3 所示。

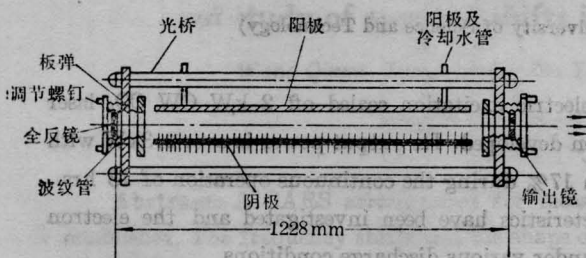


图3 谐振腔和放电区的结构示意图

谐振腔的中间部分为放电区, 放电长度为 950 mm, 平板阳极置于上方, 针形阴极置于下方, 其电极结构如图 4 所示。针形电极共分三排, 每排 80 根均匀分布, 极间距离为 35 mm, 针形电极伸入气流喉道 10 mm。为

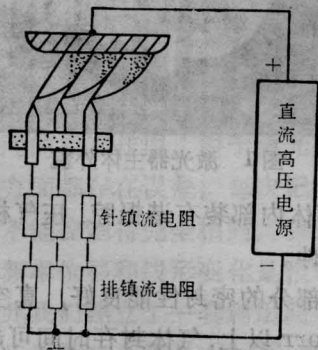


图4 电极结构示意图

提高放电的稳定性, 在每根针电极的放电支路中, 串联一个高值电阻, 每排各针电阻的另一端并联后, 再串接一个低值电阻, 用以调节各排放电电流的大小。

## 二、放电特性和电子温度

采用钨、钼两种针形电极, 在不同的放电条件下, 分别进行了放电特性的研究。并且, 利用自制的双探针自动测量装置, 测量了激光器放电等离子体的电子温度<sup>[2]</sup>。

当采用单排钨针电极对平板铜阳极放电时, 在气体成分为  $1\text{CO}_2:7\text{N}_2:20\text{He}$ , 气温为  $20^\circ\text{C}$ , 流速为  $50\text{ m/s}$ , 极间距离为  $35\text{ mm}$  的条件下, 其极间电压、输入电功率随气压和放电电流的变化关系, 如图 5 所示。在正常辉光放电区内, 每根钨针电极的最大放电电流为  $35\text{ mA}$ , 当气压为  $100\text{ Torr}$  时, 单排钨针电极的最大输入功率为  $9.24\text{ kW}$ 。

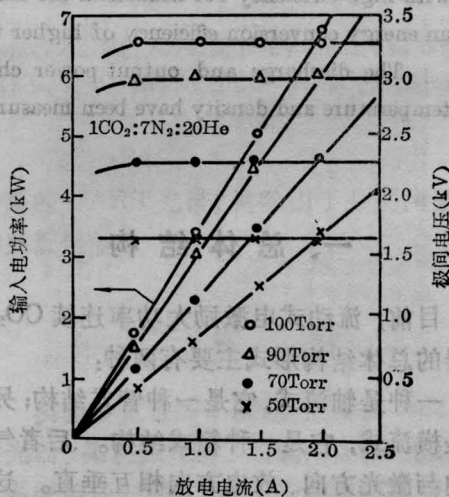


图5 单排钨针电极的放电特性

采用钼针电极对铜板阳极放电时, 在相同的放电条件下, 其极间电压要比钨针电极的极间电压低些, 如图 6 所示。因而, 在相同的放电条件下, 采用钼针放电的  $E/N$  值较小, 有利于改善放电稳定性和提高激光器的效率。

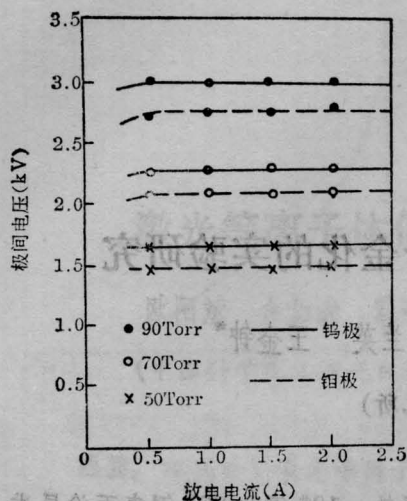


图6 钨、铅针形电极放电特性的比较

在气体成分为  $1\text{CO}_2:7\text{N}_2:20\text{He}$  和  $1\text{CO}_2:9\text{N}_2:20\text{He}$ , 气压为 90 Torr, 流速为 50 m/s, 气温为  $20^\circ\text{C}$  的条件下, 采用第一、二排各 40 根钨针电极并联放电时, 电子温度及浓度与电流的关系如图 7 所示。

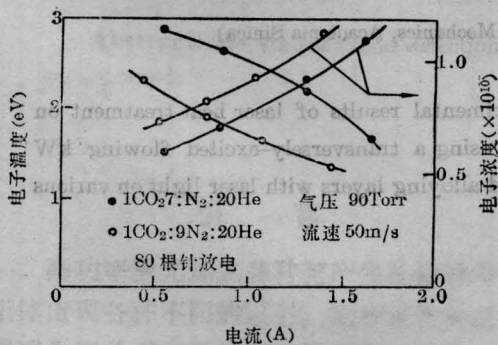


图7 电子温度及浓度与电流的关系

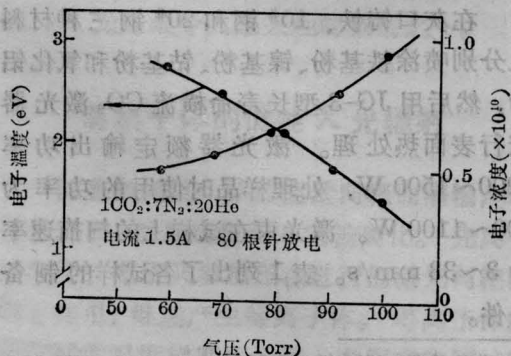


图8 电子温度及浓度与气压的关系

由图可见, 随着放电电流的增大, 放电等离子体的电子温度下降, 电子浓度增加。

在上述放电条件下, 当气体成分  $1\text{CO}_2:7\text{N}_2:20\text{He}$ , 且保持放电电流为 1.5 A 时, 电子温度及浓度与气压的关系如图 8 所示。随着气压升高, 电子温度下降, 电子浓度增加。

### 三、各排输入功率密度的分布

采用多排针形电极并联放电时, 由于前排电极放电对后排电极的放电起预电离的作用, 因而, 沿气流方向, 各排针电极的放电电压逐渐降低, 各排的输入功率密度和放电参数  $E/N$  值也不相同。合理地选择各排的输入功率密度, 调节各排放电的  $E/N$  值, 可以显著地提高激光器的效率和改善放电稳定性<sup>[3,4]</sup>。

在气体成分为  $1\text{CO}_2:7\text{N}_2:20\text{He}$ , 气压为 90 Torr, 流速为 50 m/s, 气温为  $20^\circ\text{C}$  的条件下, 三排钨针电极并联放电时, 其各排功率密度和  $E/N$  值的分布如图 9 所示。

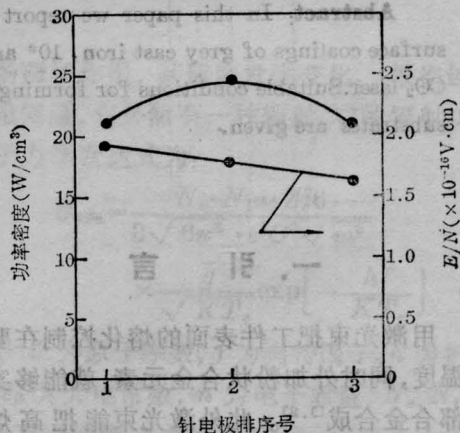


图9 各排功率密度和  $E/N$  值的分布

第一排针电极放电主要起预电离作用, 为使该排放电均匀、稳定, 应使该排的输入功率密度最低为宜。第二排针电极为主放电区, 输入功率密度最高, 现已达到约  $25\text{W}/\text{cm}^3$ , 第三排针电极的输入功率密度可适当减

(下转第 44 页)



表 3

腔型	输出能量(mJ)	发散角(mrad)	
平行平面	7.2	8	
平凸	6.4	单透镜补偿	望远镜离焦补偿
		3	2

这里可以看出,在同样条件下,平凸腔经补偿后光束发散角比平面腔大为改善。实验中所用的望远镜仅 2.7 倍。

按照上述器件参数计算可知:当望远镜目镜焦距  $f_e < 20$  mm 时,离焦量  $\Delta f < 1.7$  mm,所以,当平凸腔用于由激光器和望远镜组成的发射系统时,就可以拿这个望远镜进行离焦补偿,不增加任何元件和系统尺寸,在调节上也没有困难。

### 三、研制结果

(上接第 51 页)

小,各排的放电参数  $E/N$  值从  $1.92 \times 10^{-16} \text{V} \cdot \text{cm}^2$  下降到  $1.64 \times 10^{-16} \text{V} \cdot \text{cm}^2$ 。

### 四、输出特性

激光器的输出特性如图 10 所示。在气

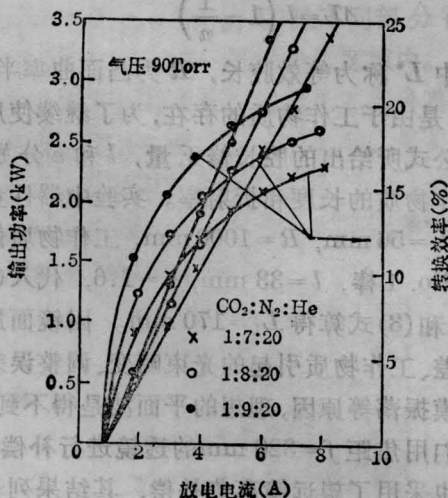


图 10 输出特性

在上述实验的基础上,我们研制成功一种小型 NdPP 脉冲激光器,室温下自然冷却每分钟可以发射 10 次,输入能量 5.9~8.6 J 输出单峰脉冲,单脉冲能量 17 mJ,脉冲宽度(半功率点)4 ns,峰值功率大于 4 MW,用套孔法测量发散角:4.2 mrad 通过总能量的 90%,2.5 mrad 通过总能量的 68%,器件外形尺寸  $15 \times 22 \times 68$  (mm)<sup>3</sup>,重量 35 g (不包括电源)。

### 参 考 文 献

- [1] 廉汝林等,《激光与红外》,1980, No. 13, 28.
- [2] S. R. Chinn et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, 31, No. 3, 178~180.
- [3] 赫光生,雷仕湛;《激光器设计基础》,上海科学技术出版社,1979, 40~45.

压为 90 Torr,流速为 50 m/s,气温为 20°C 的情况下,改变混合气体中 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 和 He 的比例,得到了三组输出特性的曲线。

适当地增加混合气体中的含 N<sub>2</sub> 量,可以显著地提高激光器的输出功率和效率。本激光器工作气体的最佳混合比为 1CO<sub>2</sub>:9N<sub>2</sub>:20 He。采用这种气体的比例,在 90 Torr 的气压下,流速为 50 m/s,放电区上游气温为 20°C 时,激光器的输出功率可达 2900 W,电光转换效率可达 20%。连续运转时间为 4 小时。

### 参 考 文 献

- [1] 永井治彦(永井);大出力炭酸のレーザー,《三菱电机技报》,1981, 55, No. 10, 55~59.
- [2] 李同宁;华中工学院研究生论文,1984, 10.
- [3] R. B. Lancashire et al.; *Opt Engineering*, 1977, 16, No. 5, 505~512.
- [4] R.H. Bullis et al.; *AIJA J.*, April, 1972, 407~414.