

1 kW 无氦横流连续 CO<sub>2</sub> 激光器的研究

丘军林 龚志伟 唐宗化 孙书华 刘杨满 袁 好 李万荣

(华中工学院激光研究所)

Study of 1kW transverse flow CW helium-free CO<sub>2</sub> laserQiu Junlin, Gong Zhiwei, Tang Zhonghua, Sun Shuhua, Liu Yangman, Yuan Yu, Li Wanrong  
(Laser Institute, Huazhong Institute of Technology, Wuhan)

**Abstract:** Experimental results are reported on a 1 kW transverse flow CW CO<sub>2</sub> laser in which helium is replaced by argon, the main parameters are the same as those of using helium. Also given are the construction feature of the laser, the factors causing temperature increase and the corresponding measures taken. The influence of argon on the upper energy level of CO<sub>2</sub> are analysed.

本文报道我们研制的 1 kW 无 He 横流连续 CO<sub>2</sub> 激光器的实验结果。激光器总体结构如图 1 所示。其放电装置采用针板放电结构, 阴极由 152 根直径为 1.5 mm 的铯钨丝组成, 阳极为通水冷却的平板阳极, 阴阳极之间的放电距离为 33 mm, 放电长度为 740 mm; 光腔由铜镜镀金而曲率半径为 9 m 的全反射镜和透射率为 15% 的复合硫化镓平镜组成, 为保证光腔的机械稳定性能, 将它们安装在特制的光桥上; 热交换系统由热交换器和压缩机等组成, 形成封闭

循环的制冷热交换系统; 风机为轴流式压气机, 风速约 35 m/s。

为了使激光器在无 He 情况下能够稳定运行, 其结构具有如下特点:

## 1. 采用新型针-板电极结构

阴极所用的 152 根铯钨针系用陶瓷与金属封接工艺<sup>[1]</sup>制得 152 个阴极针组件, 而后再将全部组件与支撑板封接成整体阴极, 保证了针与地之间的绝缘性能。阴极上的每一条焊缝都经过严格检漏, 故成品阴极具有极好的真空密封性能。此外, 阴极针的接线端及支撑板的外侧面直接暴露在大气中, 增强了电极的冷却效果, 从而提高了放电的稳定性能。

## 2. 热力学计算及措施

He 在横流 CO<sub>2</sub> 激光器中的主要贡献之一是由于它具有极好的热传导系数 (0.123 kcal/m·h·°C), 而有助于传递放电区的剩余热量, 保证了激光器的稳定运行。根据热量方程式可算出放电区的温升:

$$Q = 0.24 P_E (1 - \eta) = C_{pn} \dot{m}_n (T_2 - T_1) \quad (1)$$

式中  $P_E$ ——放电区输入电功率;  $\eta$ ——电光转换效率;  $C_{pn}$ ——混合气体的定压比热;  $\dot{m}_n$ ——混合气体的质量流量;  $T_2$ ——放电区出口(或下游)的气体温度;  $T_1$ ——放电区进口(或上游)的气体温度。

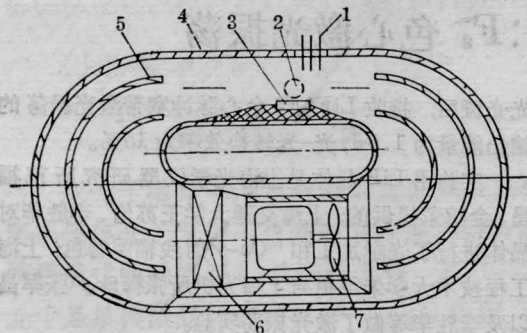


图 1 激光器结构示意图

1—阴极; 2—光腔; 3—阳极; 4—外壳;  
5—导流片; 6—热交换器; 7—轴流风机

由(1)式可得放电区的温升  $\Delta T$  为:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{0.24 P_E (1 - \eta)}{C_{pn} \cdot \dot{m}} \quad (2)$$

根据流体力学的连续方程式可得

$$\dot{m} = f W_n \rho_{on} \frac{P_n}{760} \quad (3)$$

式中:  $f$ ——放电区喉道的截面积;  $W_n$ ——放电区混合气体的流动速度;  $\rho_{on}$ ——标准状态下混合气体的平均密度;  $P_n$ ——混合气体的压力。将(3)式代入(2)式整理后可得:

$$\Delta T = \frac{182.4 P_E (1 - \eta)}{C_{pn} \rho_{on} f W_n P_n} \quad (4)$$

由(4)式可知, 当  $P_E$ 、 $f$  一定时, 影响放电区温升的因素为  $\eta$ 、 $C_{pn}$ 、 $\rho_{on}$ 、 $W_n$ 、 $P_n$  等 5 个参数。

如果用 Ar 取代混合气体中的 He, 则掺 Ar 时的电光转换效率  $\eta_{Ar}$  略高于掺 He 时的  $\eta_{He}$ <sup>[2]</sup>; 通过查阅有关数据可知  $C_{pHe} \cdot \rho_{oHe} \approx C_{pAr} \cdot \rho_{oAr}$  (即  $1.25 \times 0.219 \approx 0.125 \times 2.19$ ); 我们再设法使剩余参数  $(W_n P_n)_{Ar} \geq (W_n P_n)_{He}$ , 则放电区的温升将受到控制而不再升高, 可见无 He 运行是可能的。

由于在实际运行条件下,  $(W_n P_n)_{Ar} < (W_n P_n)_{He}$ 。在相同输出功率下, 充 Ar 运行时的下游温度要比充 He 运行时的温度高 10°C, 从而导致上游温度也相继提高而不利于稳定运行。因此, 为了保证上游温度满足稳定运行的要求, 我们采用了高效制冷热交换系统, 它由热交换器和制冷压缩机等组成封闭循环的系统。该系统运转时与被加热的工作气体的温差在 70°C 以上, 有利于热量的交换而保证了工作气体始终处于稳定工作所需要的温度范围内。实验表明, 当激光器处于室温高达 34°C、水温高达 32°C 时的苛刻条件下, 仍能达到技术指标, 可见该激光器受环境温度的影响是相当小的。同时由于热交换系统处于封闭情况下运行, 其热交换器不会受到外界水质的影响, 因此不会因水中的矿物质附着于热交换器内壁而降低热交换能力; 更不会因矿物质的积累过多而堵塞热交换器, 导致激光器不能工作的严重现象。

我们采用 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar 作工作气体, 通过各种不同成份和不同总气压的大量实验研究, 筛选出的最佳比例为 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:Ar=1.5:10:10, 总气压为 60~62 Torr。在输出镜的透射率=15%、气流速度  $v=35$  m/s 时, 输出特性如图 2 曲线(a)所示, 曲线(b)是本激光器在不改变其它条件时, 作有 He(CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:7:20, 总气压=90 Torr) 运行时的输出特性。可见, 以 Ar 代 He 与有 He 情况下运行的输出特性基本相当。而稳定性实验曲线如图 3 所示。

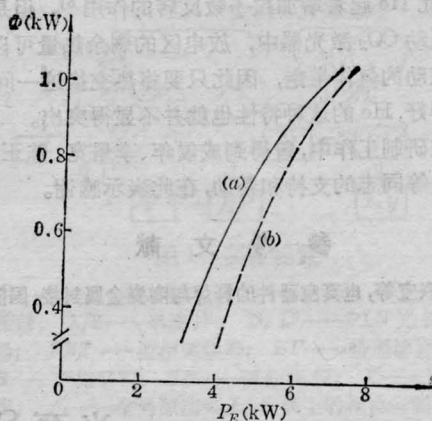


图 2 横流 CO<sub>2</sub> 激光器输出特性的比较  
(a)—CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:Ar=1.5:10:10; 总气压: 60~62 Torr  
(b)—CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:7:20; 总气压: 90 Torr

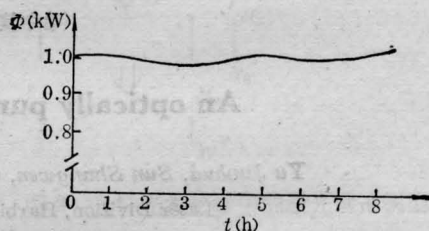


图 3 无 He 横流 CO<sub>2</sub> 激光器的输出稳定性  
CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:Ar=1.5:10:10; 总气压: 60~62 Torr

实验结果表明, 输入电功率为 7 kW 时, 输出功率为 1.05 kW, 电光转换效率为 15%, 并作 8 小时的连续运行; 将输出功率提高到 1.2 kW 时, 可作 1~2 小时的连续运行。此外, 还作过充气一次, 每天工作 6 小时, 连续工作 5 天的实验, 都可得到 >1 kW 的输出功率和 >14% 的电光转换效率。

由于在稳定放电时掺 Ar 的  $(E/N)_{Ar}$  值要高于掺 He 的  $(E/N)_{He}$  值, 因此掺 Ar 时的电子温度比掺 He 时的电子温度高。根据有关文献报道, 掺 Ar 获得的电子温度为 2.3 eV<sup>[3]</sup>, 而掺 He 时的电子温度为 1.5~2 eV<sup>[4]</sup>。然而在 2.3 eV 的能量下, N<sub>2</sub> 的 1~8 振动能级有最大的激发截面, 从而有效并间接地对 CO<sub>2</sub>(00<sup>0</sup>1) 能级有贡献; 此外, 亚稳态的 Ar 粒子通过重粒子碰撞过程使 N<sub>2</sub> 的振动能级集居粒子数。可见掺 Ar 时主要是对 N<sub>2</sub> 的振动激发而有效地激发了激光上能级, 故使掺 Ar 时的效率略高于掺 He。

众所周知, 在封离型 CO<sub>2</sub> 激光器中, 加入 He 是利用其导热率高的优良特性, 促使放电气体的冷却, 当气体温度下降时, (10<sup>0</sup>0) 和 (02<sup>0</sup>0) 能级的粒子数相对减少, 而又不影响激光上能级 (00<sup>0</sup>1) 粒子的分

布,因此 He 起着增加粒子数反转的作用<sup>[1]</sup>。但是在横向流动 CO<sub>2</sub> 激光器中,放电区的剩余热量可以由快速流动的气体带走,因此只要将热交换这一问题处理得好,He 的这种特性也就并不显得突出。

在研制工作中,曾得到成俊年、李景宽、陈正威、蒋杏松等同志的支持和帮助,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

1 刘联宝等,电真空器件的钎焊与陶瓷金属封接,国防工

业出版社,第 3、4 章,1978

2 Nagai Haruhiko *et al.* *IEEE J. Quant. Electr.*, 1982; **QE-18**(3): 416~421

3 柴三耕三郎 *et al.* 《活力レーザ研究》,1980; **8**(2): 46~53

4 贝克非 G 等着,激光等离子体原理,庄国良等译,科学出版社,1981: 153

5 蔡伯荣 *et al.* 激光器件,湖南科技出版社,1981: 83

(收稿日期: 1986 年 10 月 24 日)

## 光泵 S<sub>2</sub> 蓝-绿激光\*

于俊华 孙尚文 程永康 周力 马祖光

(哈尔滨工业大学激光教研室)

### An optically pumped S<sub>2</sub> blue-green laser

Yu Junhua, Sun Shangwen, Cheng Yongkang, Zhou Li, Ma Zuguang

(Laser Division, Harbin Institute of Technology, Harbin)

**Abstract.** B-X laser oscillation of S<sub>2</sub> was achieved in a S<sub>2</sub> vapour laser pumped by a XeCl excimer laser. The related laser parameters were measured and eight laser lines in 430~520 nm range were observed.

由于 500 nm 左右的蓝-绿光谱区恰是“水下窗口”<sup>[1]</sup>,因此积极地探索与发展高效率、低阈值、宽蓝-绿谱区可调谐激光器已成为目前研制新型激光器的重要课题之一。

由(S<sub>2</sub>)的势能曲线可以看出<sup>[2]</sup>, B<sup>3</sup>Σ<sub>g</sub><sup>-</sup>电子激发态势能最低点和 X<sup>3</sup>Σ<sub>g</sub><sup>-</sup>电子态 v''=8 振动能级的右侧回转点具有相同的横坐标(γ 相同); X 态的势阱比较深, B 态 v'≤9 的部分嵌在 X 态的势阱之内。因此 B-X 态之间的辐射跃迁对应的波长几乎覆盖了 700~280 nm 的整个谱区,甚至出现了谱带重叠的现象<sup>[3]</sup>。S<sub>2</sub> 的这些特征使它有可能成为一种很有前途的新介质。

实验装置如图 1 所示。在低温条件下,硫饱和蒸气中绝大部分是 S<sub>2</sub>~S<sub>8</sub> 多聚物分子, S<sub>2</sub> 分子含量极少,只有在合适的温度和总气压条件下, S<sub>2</sub> 的含量才大于 99%<sup>[4]</sup>。硫的饱和蒸气压高些,解离高阶硫所得到的 S<sub>2</sub> 粒子数会足够多,但是处于基态的 S<sub>2</sub> 和处于激发态的 S<sub>2</sub><sup>\*</sup> 碰撞猝灭效应会使 S<sub>2</sub><sup>\*</sup> 的寿命大为

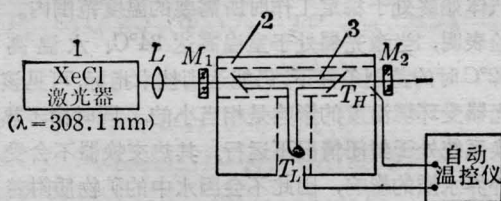


图 1 实验装置

1—泵浦源:EMG 101 XeCl 准分子激光器,波长  $\lambda=308.1\text{ nm}$ , 带宽  $\Delta\lambda=3\text{ nm}$ , 最大输出激光能量 80 mJ; 2—双温区炉; 3—“T”形硫管; L—石英透镜; M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>—谐振腔片 M<sub>1</sub>:R<sub>450~550</sub>=86%, T<sub>308</sub>=82%, M<sub>2</sub>:R<sub>450~550</sub>=78%

缩短,这又要求 S<sub>2</sub> 蒸气浓度不能太大,通常把硫的总饱和蒸气压控制在 1~10 Torr,温度控制在 600°C 或更高些。在图 1 中把“T”形硫管放置在可控双温区加热炉中,低温区用来控制硫蒸气的总气压,它的控制范围为 T<sub>L</sub>=140~260°C;高温区主要用来热解

\* 国家自然科学基金资助课题。