

# 室温工作的射频放电激励板条 CO 激光器

王新兵

(华中科技大学 激光技术与工程研究院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 研究了在室温工作下射频放电激励板条 CO 激光器的工作特性. 采用 81 MHz 的射频放电, 利用并联谐振技术获得均匀的射频放电. 激光器电极大小为 86 mm(宽)×700 mm(长), 间距为 1.7 mm. 激光器谐振腔为输出耦合系数为 8 % 的负支共焦谐振腔. 研究了激光器的脉冲工作特性, 以及不同脉冲情况下脉冲的时间特性. 获得了峰值功率约为 600 W 的激光输出. 测量了激光器输出的光谱特性以及输出功率稳定性.

**关键词:** 射频放电; 扩散冷却; 板条; CO 激光器

中图分类号: TN2 文献标识码: A 文章编号: 1671-4512(2006)01-0087-03

## Study of CO slab laser excited by RF discharge at room temperature

Wang Xinbing

**Abstract:** Characteristics of CO slab laser excited by RF discharge at room temperature was studied. A uniform RF discharge was obtained with the technology of parallel resonance at the frequency of 81 MHz. The area of the electrode was 86 mm×700 mm, and the gap between the electrodes was 1.7 mm. The resonator used in the experiments was hybrid negative branch unstable-waveguide resonator with the output coupling of 8 %. The characteristics of the laser output at pulse operation were studied and the maximum peak power of 600W was obtained. The spectrum contents of the laser output and its power stability were measured.

**Key words:** RF discharge; diffusion cooled; slab laser; CO laser

**Wang Xinbing** Prof.; State Key Lab. of Laser Tech., Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074, China.

CO 激光器为中红外区的激光光谱及许多方面的应用中必不可少的相干光源, 特别是近年来随着信息产业的发展, 陶瓷、玻璃、印刷电路板、有机物等材料得到了大量的使用, 对于这些材料的加工也成为研究热点, 处于中红外区域的 CO 激光器也是一种潜在的选择, 大功率一氧化碳激光技术正日益受到人们的重视<sup>[1]</sup>. 不少文献已经报道了多种 CO 激光器<sup>[2~4]</sup>, 但一般都是采用液氮冷却, 其中包括快速流动射频激励技术或电子束激励, 并且这些激光器都是连续工作的, 而激光的很多应用中都要求激光器能够脉冲工作, 最好是能够在室温下封离工作. 随着射频激励扩散型冷

却板条气体激光器这一项新的技术的出现和应用<sup>[5]</sup>, 使得紧凑型大功率一氧化碳激光器的实现成为可能<sup>[6~8]</sup>. 本文报道了室温下射频放电激励板条 CO 激光器的工作特性.

## 1 实验装置

实验中的激光器电极面积为 86 mm×700 mm, 电极间距为 1.7 mm. 上下电极间用陶瓷块隔离, 无侧壁. 气体放电激励的射频电源频率为 81 MHz, 其输出通过 50 Ω 传输线, 经过一  $\pi$  形匹配网络和电极连接, 以实现阻抗匹配. 为了获得板条波导的纵向均匀气体放电, 还利用了纵向周期

收稿日期: 2005-03-01.

作者简介: 王新兵(1967-), 男, 教授; 武汉, 华中科技大学激光技术与工程研究院 (430074).

E-mail: xbwang@hust.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60478028).

分布电感匹配技术<sup>[9]</sup>. 电极材料为铝, 上下两个铝电极均采用了自来水冷却, 即激光器在室温下工作.

和文献报道的板条激光器的谐振腔不同, 本文所报道的激光器采用负支共焦非稳谐振腔, 其结构如图 1 所示. 同传统的正支非稳谐振腔相比<sup>[5]</sup>, 其失调灵敏度低. 激光器谐振腔的输出耦合系数  $\delta=8\%$ , 如果知道谐振腔的长度  $L$ , 根据下式即可确定谐振腔镜的参数( $R_1$ 、 $R_2$ ):

$$\delta = 1 - 1/M; \quad M = R_2/R_1;$$

$$R_1/2 + R_2/2 = L,$$

式中  $M$  为谐振腔的几何放大率. 值得一提的是谐振腔的前后反射镜和输出窗口由于已经使用了很长时间, 肉眼可以观察到激光镜面的损伤, 这样整个谐振腔的损失是比较大的, 这也是造成激光器效率低的原因. 整个光学谐振腔和电极部分放置在一个铝真空腔内.

实验中, 采用的混合气体成分为 CO, He, Xe 和 O<sub>2</sub>, 其气压比例为  $p(\text{CO}) : p(\text{He}) : p(\text{Xe}) : p(\text{O}_2) = 1 : 20 : 0.7 : 0.04$ , 在以下实验中工作气压都为 18.7 kPa. 在激光混合气体中, 并没有加入 N<sub>2</sub> 气, 与直流放电激励的 CO 激光器不同. 一般在混合气体中 N<sub>2</sub> 的作用是通过谐振能量转移使得 CO 激发到振动态, 但在 RF 放电中, 实验表明加入 N<sub>2</sub> 对激光器的输出没有明显的改进, 这可能是由于在射频放电中电子能量较低不足以形成 N<sub>2</sub> 的激发的原因<sup>[8]</sup>.

采用如图 2 所示的测试系统测量激光器的输出特性. 激光器的输出通过一分束器后, 大部分激光输出进入功率计记录激光器的平均功率, 小部分激光输出进入快响应速度的热释电探测器记录激光器输出脉冲的时间波形; 同时还有部分输出进入单色仪, 测量激光器输出的光谱特性. 功率计的输出、热释电探测器的输出以及单色仪的输出与计算机相连, 直接进行数据采集.

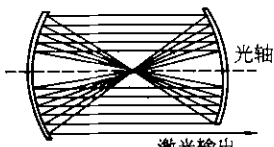


图 1 射频放电板条 CO 激光器

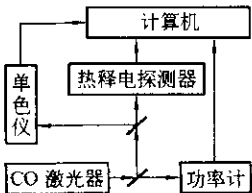


图 2 CO 激光器输出特性测量系统

## 2 实验结果

激光器输出功率实验结果如图 3 和图 4 所

示. 实验中, 射频脉冲的峰值功率都为 9 kW. 图 3 为激光器的平均输出功率( $P_o$ )和平均注入功率( $P_i$ )的关系, 可以看到频率高时激光的输出功率较高. 最大平均功率为 70 W, 此时对应的激光光电转换效率约为 1.8%. 效率比较低是由于所用的是旧的腔镜, 反射率低的原因. 另外使用自来水冷却也是效率低的原因. 由于射频激光器的输出功率是通过脉冲宽度调制来控制的, 图 4 激光平均输出功率( $P_o$ )和脉冲持续时间( $\tau$ )的关系, 实际上也反映了激光输出功率和脉冲占宽比的关系.

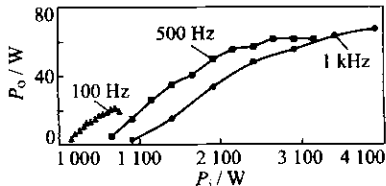


图 3 输出功率与射频功率

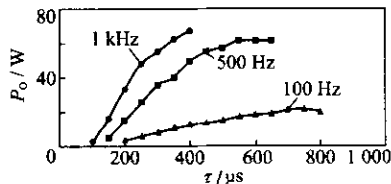


图 4 输出功率和脉冲宽度

图 5(a)和图 5(b)分别为频率为 100 Hz 以及 500 Hz 时, 不同脉冲宽度下, 激光脉冲输出波形. 图中纵坐标为功率( $P$ ), 横坐标为时间( $\tau$ ). 可以看到重复频率低时, 激光的峰值功率高, 这是由于激光气体得到了较为充分冷却的原因. 最高峰值功率接近 600 W.

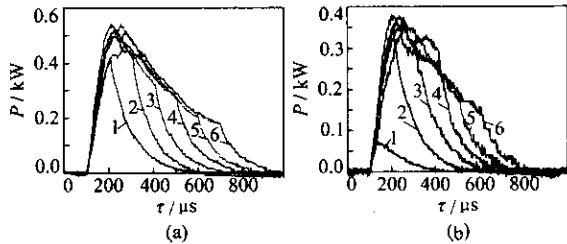


图 5 激光脉冲输出波形

(a) 脉冲宽度 1—250  $\mu\text{s}$ , 2—350  $\mu\text{s}$ , 3—450  $\mu\text{s}$ , 4—550  $\mu\text{s}$ , 5—650  $\mu\text{s}$ , 6—750  $\mu\text{s}$ ; (b) 脉冲宽度 1—150  $\mu\text{s}$ , 2—250  $\mu\text{s}$ , 3—350  $\mu\text{s}$ , 4—450  $\mu\text{s}$ , 5—550  $\mu\text{s}$ , 6—650  $\mu\text{s}$

激光输出的时间延时大约为 100  $\mu\text{s}$ , 这是由 CO 激光器的非谐振泵浦过程决定的<sup>[1]</sup>. 在 CO 激光器中, 除了电子的直接碰撞激发外, 还通过非谐性振动态泵浦实现振动激发. 两个处于激发态的 CO 分子发生碰撞时相互交换能量的过程, 使一个分子跃迁到高振动态. 激光脉冲的上升时间 60  $\mu\text{s}$ , 下降时间 80  $\mu\text{s}$ . 峰值功率约为平均功率的 10 倍.

如图 6 所示,可见激光器的输出功率不稳定性( $S$ )在 4 %左右,呈现一种慢速波动的特征,一般认为这是由于谐振腔的长度变化所产生的模式跳动所致. 激光器输出的光谱特性如图 7 所示. 激光输出波长位于  $5.2 \sim 5.8 \mu\text{m}$ ,采用脉冲宽度调制调节射频激光器的输出功率时,可以看到在不同的脉冲宽度的情况下,激光器输出的光谱成分发生变化.

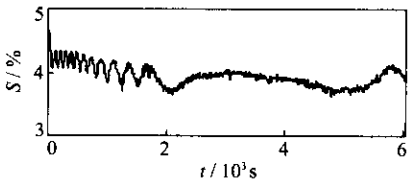


图 6 激光功率的稳定性

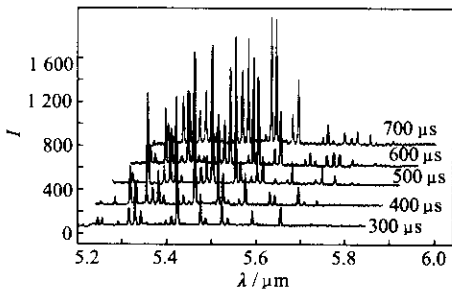


图 7 激光输出光谱成分

由于 CO 激光器是一种级联跃迁的激光器,一条谱线的输出会引起另外一条谱线的输出,因此一般情况下激光器是多谱线输出. 如果所加工材料的特性对波长的变化比较敏感,则必须采取措施稳定激光器的波长,一般可采用腔内 FP 选模、光栅、三镜谐振腔的方法. 对于板条结构的激光器而言采用多折稳定谐振腔加上光栅的方法是一种比较好的选择.

致谢 本文的工作得到国家留学基金委的资助. 同时感谢英国 Heriot-Watt 大学物理系的 D.

R. Hall 教授的邀请,并提供实验条件.

## 参 考 文 献

- [1] 林钧岫,于清旭. 一氧化碳分子激光器[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1998.
- [2] Sato S. Improved performance of closed-cycle self-sustained discharged excited CW CO Laser[J]. J Appl Phys, 1985, 50(11): 3 991-3 995.
- [3] Hideaki Saito. Scaling up of a closed-cycle self-sustained discharge-excited CO laser[J]. Rev Sci Instrum, 1987, 58(8): 1 417-1 421.
- [4] Basov N G. High-power electroionization CO<sub>2</sub> and CO laser for industrial applications[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1985, QE-21(4): 342-358.
- [5] Colley A D, Baker H J, Hall D R. Planar waveguide 1 kW CW carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge[J]. Appl Phys Lett, 1992, 61(2): 136-138.
- [6] Colley A D, Villarreal F, Baker H J, et al. High brightness slab waveguide carbon monoxide laser[J]. Appl Phys Lett, 1994, 64(22): 2 916-2 918.
- [7] 辛建国,张 旺,焦文涛,射频激励扩散型冷却板条波导千瓦 CO 激光器[J]. 光学学报, 2000, 20(5): 714-716.
- [8] Zhao H, Baker H J, Hall D R. Area scaling in slab rf excited carbon monoxide lasers[J]. Appl Phys Lett, 1991, 59(11): 1 281-1 283.
- [9] Xin Jianguo, Peng Xueyun. Analysis of discharge uniformity in RF excited gas lasers[C] // Proceedings of International Conference on Optoelectronics and Lasers (ICOEL). Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 1995: 271-276.

作者: 王新兵, Wang Xinbing  
作者单位: 华中科技大学, 激光技术与工程研究院, 湖北, 武汉, 430074  
刊名: 华中科技大学学报(自然科学版) ISTIC EI PKU  
英文刊名: JOURNAL OF HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY(NATURE SCIENCE)  
年, 卷(期): 2006, 34(1)  
被引用次数: 2次

参考文献(9条)

1. 林钧岫;于清旭 一氧化碳分子激光器 1998
2. Sato S Improved performance of closed-cycle self-sustained discharged excited CW CO Laser[外文期刊] 1985(11)
3. Hideaki Saito Scaling up of a closed-cycle self-sustained discharge-excited CO laser[外文期刊] 1987(08)
4. Basov N G High-power electroionization CO<sub>2</sub> and CO laser for industrial applications 1985(04)
5. Colley A D;Baker H J;Hall D R Planar waveguide 1 kW CW carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge 1992(02)
6. Colley A D;Villarreal F;Baker H J High brightness slab waveguide carbon monoxide laser[外文期刊] 1994(22)
7. 辛建国;张旺;焦文涛 射频激励扩散型冷却板条波导千瓦CO激光器[期刊论文]-光学学报 2000(05)
8. Zhao H;Baker H J;Hall D R Area scaling in slab rf excited carbon monoxide lasers[外文期刊] 1991(11)
9. Xin Jianguo;Peng Xueyun Analysis of discharge uniformity in RF excited gas lasers 1995

本文读者也读过(8条)

1. 陆聿文, Sui Yuwen 微波激励CO<sub>2</sub>激光器调谐调配的研究[期刊论文]-桂林电子工业学院学报1999, 19(4)
2. 李文斌, 李光辉, 陆聿文, 谭从兵 气体激光器波导耦合腔的研制与测试[期刊论文]-湘潭矿业学院学报 2003, 18(2)
3. 辛建国, 张旺, 焦文涛, Xin Jianguo, Zhang Wang, Jiao Wentao 射频激励扩散型冷却板条波导千瓦CO激光器[期刊论文]-光学学报2000, 20(5)
4. 混合型氧碘激光器的进展[期刊论文]-激光与光电子学进展2002, 39(2)
5. 吴志伟 按增益体积缩放环状波导CO<sub>2</sub>激光器研究和设计[学位论文]2006
6. 周引穗, 高爱华, 郑新亮, 李恩玲, 胡晓云, 陆治国, Zhou Yinshui, GAO Aihua, Zheng Xinliang, Li Enling, Hu Xiaoyun, Lu Zhiguo 气体激光器射频至微波放电激发的某些规律[期刊论文]-光子学报2001, 30(5)
7. 李贵安, 宋建平, 张相臣, 李貅 微波激励CO<sub>2</sub>激光器放电机制[期刊论文]-长安大学学报(自然科学版) 2002, 22(6)
8. 文备 化学激光电弧驱动氟原子发生器的研究[学位论文]2009

引证文献(2条)

1. 杨贵龙, 邵春雷, 李殿军, 郭劲 室温条件下脉冲CO激光辐射特性[期刊论文]-发光学报 2010(5)
2. 林洪沂, 郭劲, 檀慧明, 宁大勇, 陈兆兵, 李殿军 泛频CO激光器研究进展[期刊论文]-激光与红外 2009(4)