

射频激励金属板条波导 CO₂ 激光器的功率输出特性

李志明¹, 辛建国²

(1. 内蒙古工业大学 电力学院 信控系, 内蒙古 呼和浩特 010080;

2. 北京理工大学 信息科学技术学院 光电工程系, 北京 100081)

摘要: 为了获得较高的激光输出功率, 介绍了射频激励扩散冷却全金属板条波导 CO₂ 激光器, 放电区域由左右两个铝合金壁和上下两个铝合金电极构成, 放电区域高 2 mm, 宽 20 mm, 长 386 mm。工作气体混合比 CO₂:N₂:He:Xe=1:1:3:0.26, 该技术代替了过去的金属陶瓷结构, 结合纵向电压均匀分布技术和面增比技术, 获得了 127 W 的激光输出功率, 光电转换效率高达 14%。实验中, 照相机放在激光器的纵向轴心上, 清楚地记录了 CO₂ 激光器的放电现象。实验结果表明, 该激光器小信号增益 1%/cm, 饱和光强 1 200 W/cm², 促进了 CO₂ 激光器的发展。

关键词: CO₂ 激光器; 射频激励; 全金属板条波导; 功率输出特性

中图分类号: TN248.2; O432.1+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2008)02-0230-03

Power output characteristic of RF excited all metal slab waveguide CO₂ laser

LI Zhi-ming¹, XIN Jian-guo²

(1. Department of Information and Control, School of Electric Power, Inner Mongolia University of Technology,

Huhehaote 010080, China; 2. Department of Engineering Optics, School of Information Science and Technology,

Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to get the high output power, a RF excited diffusively cooled all-metal slab waveguide CO₂ laser was reported, in which gas discharge region was constructed by two aluminum side walls and aluminum electrodes. The region dimension was 2 mm height×20 mm width×386 mm length, and the gas composition was CO₂:N₂:He:Xe=1:1:3:0.26. This technique replaced the old ceramic and metal sandwich waveguide technique. The optimum out power 127 W was achieved from the RF excited diffusively cooled all-metal slab waveguide CO₂ laser with the longitudinal voltage uniformity distribution technique and scaling area technique. The electro-optic conversion efficiency was about 14%. In the experiment, the camera was placed on the longitudinal axis of all-metal slab waveguide and recorded the discharge phenomenon of CO₂ laser clearly. The experimental result shows that the small signal gain is 1%/cm, and the saturated intensity is 1 200 W/cm². The laser technique will greatly promote the CO₂ laser development.

Key words: CO₂ laser; RF excited; All metal slab waveguide; Power output characteristic

0 引言

1991 年, 英国 Heriot-Watt 大学的 D.R.Hall 结合面增比技术^[1]研制成功了千瓦级 CW 运行的横向射

频激励扩散型冷却 CO₂ 气体激光器^[2], 器件尺寸仅为 85 cm×25 cm×15 cm, 是传统的 DC 放电激励快速气体流动千瓦级 CO₂ 气体激光器体积的 1/20~1/10。它的研制成功, 掀起了国内外研究射频激励扩散冷却全

收稿日期: 2007-06-05; 修订日期: 2007-08-10

作者简介: 李志明(1974-)男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 从事射频激励全金属波导 CO₂ 激光器研究。Email: lzm666@sohu.com

导师简介: 辛建国(1957-)男, 山东青岛人, 教授, 博士生导师, 从事射频激励 CO₂ 激光器研究。Email: xinjg@public3.bta.net.cn

金属波导 CO₂ 激光器的热潮。1991 年,北京理工大学的辛建国结合纵向电压均匀分布^[3]和体增比^[4]技术,报道了一种射频激励单通道全金属板条波导 CO₂ 激光器^[5]。为了改善激光器的性能,提高输出效率,降低制造成本,2004 年,他又报道了一种新型射频激励扩散冷却全金属板条波导 CO₂ 激光器技术^[6],该 CO₂ 激光器外壳高 150 mm,宽 150 mm,长 450 mm,实验研究了其性能。

RF 横向放电激励 CO₂ 激光器发展迅速,主要因为具有如下优点^[6]:(1) 可实现大面积均匀放电,使大功率器件的体积缩小;(2) 可实现无极放电,能有效地激励工作物质,没有阴极溅射,提高了激光器的运行寿命;(3) 具有正向伏安特性,无需串联直流气体放电所需的限流电阻即可实现持续放电,提高了总的运行效率;(4) 工作电压低(约几百伏特);(5) 可实现单电源输入多通道同时放电均匀激励,并可获得相控光束和空间压缩高质量光束输出;(6) 可实现高频幅度调制。

利用该 CO₂ 激光器可以制成激光清洁系统,对固体表面的油漆污垢进行有效清除^[7]。还可以用于研制军用 CO₂ 激光雷达,在远距离传输方面可与合成孔径激光雷达^[8]相媲美。

1 实验装置

实验中使用的全金属板条波导激光头纵向结构如图 1 所示。其中,1 为铝合金上电极,2 为铝合金下电极,3 为铝合金侧壁,4 为铝合金底板,5 为铝合金垫板,6 为铝合金夹板,7 为陶瓷绝缘片,8 为匹配电感,9 为铜电极连接栓,10 为真空隔离绝缘套,11 为铝合金真空外壳,12 为板条波导放电区,13 为凸面反射镜,14 为镜片安装与调整装置,15 为凹面反射镜,16 为激光输出窗口。

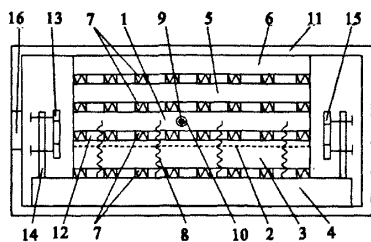


图 1 全金属板条波导激光头纵向结构示意图

Fig.1 Longitudinal diagram of the all metal slab waveguide laser head

激光头外壳与壳内器件采用热膨胀系数相同的铝合金材料制成,气体放电区域由上下两个铝合金电极和左右两个铝合金侧壁构成,板条波导气体放电区域高 2 mm,宽 20 mm,长 386 mm,铝合金下电极被

安放在铝合金底板上,底板被紧紧地固定在激光器铝合金真空壳内壁上,两个侧壁被安放在上电极和底板之间。为了形成放电绝缘间隙,沿电极纵向,在上电极和金属侧壁、底板和侧壁之间各安放了 8 个直径 6 mm,厚度 0.3 mm 的陶瓷绝缘片,侧壁和下电极板相隔 0.3 mm。为了使纵向电压均匀分布,沿两个电极纵向并联了 8 个用直径 $\phi 1$ mm 的表面镀银无氧铜丝制成的周期不同的匹配电感。当射频电源工作时,上电极和侧壁,侧壁和下电极之间产生的电压远远小于上下电极放电电压,保证了放电只发生在电极之间,而不会发生在上电极和侧壁,下电极和侧壁之间。同样沿电极纵向,在铝合金垫板和上电极、铝合金夹板和垫板之间安放了 8 个直径 6 mm 厚度 0.3 mm 的陶瓷绝缘片,当射频电源工作时,垫板和上电极、夹板和垫板之间的电压远远小于上下电极放电电压,保证了放电只发生在电极之间,而不会发生在垫板和上电极、垫板和夹板之间。夹板被紧紧地固定在激光器铝合金真空壳内壁。铝合金上电极和铜电极连接栓相连,铜电极连接栓通过真空隔离套和壳外的千瓦级射频电源相连。射频电源工作频率 91.5 MHz。两个电极通过水冷套中的循环水冷却,保证工作气体处于室温,提高激光器输出功率。

2 功率输出特性

在上下电极两侧分别安装了一个凹面镜和一个凸面镜,它们的曲率半径分别为 4 100 mm 和 3 280 mm,两镜相距 410 mm,输出孔径尺寸 2 mm×4 mm。

利用该系统,研究了当改变输入功率时,激光器输出功率随混合气体工作气压变化的情况。如图 2 所示,当输入功率一定时,输出功率随混合气体工作

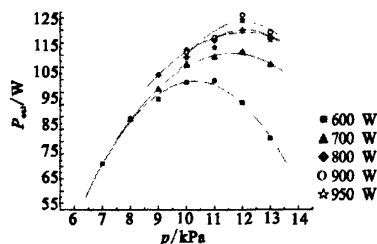


图 2 不同输入功率下输出功率随气压变化图

Fig.2 Laser power output versus gas pressures under the different RF power input

气压增加而增加,但气压增加到一定值时,输出功率反而下降。对应于某一输入功率,气压变化时,输出功率有最大值,这是因为工作气体气压高于最佳工作气压时,粒子密度增加。气体放电时,碰撞产生了大量热

能,电子平均自由程变小,激光上能级激发效率下降,不能有效激励混合工作气体,气体介质增益变小,造成输出功率变小。当混合工作气体气压改变时,激光器输出功率随输入功率变化的情况如图 3 所示。

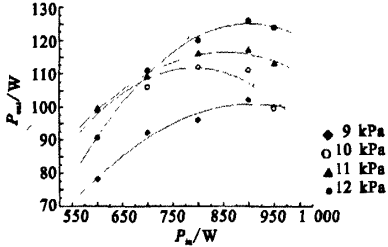


图 3 不同工作气压下输出功率随输入功率变化图

Fig.3 Laser power output versus RF power input under the different gas pressures

从图 3 可知:当混合气体的工作气压一定时,输出功率随着输入功率的增加而增加,但增加到一定值时,输出功率反而下降。对应于某一工作气压,输入功率变化时,输出功率有最大值。主要因为在该气压条件下,当输入功率小于最佳输入功率时,工作气体功率密度变小,输出功率下降。当输入功率高于最佳输入功率时,通过放电,虽然有更多输入功率泵浦到气体工作介质中,但粒子碰撞产生大量热能,放电区域的等离子体阻抗下降, E/P 值下降,造成输出功率降低。因此,激光器的输入功率有一个最佳值,超过这个值,将使放电区域工作气体温度升高,输出功率下降。

对于射频激励扩散冷却全金属板条波导 CO_2 激光器,工作气体温度对激光器功率输出影响很大。激光器工作时,产生的热量被波导水冷套中的循环冷却水带走,稳态时产生的热量和扩散冷却带走的热量保持动态平衡,因此,输入功率相同时,如果冷却充分,输出功率会增大,否则会影响激光器的功率输出。

如图 4 所示,工作气体气压为一定值时,光电转换效率随输入功率的变化而变化,对应于某一气压值,光电效率有一个最大值。当混合气体工作气压为 11 kPa,射频电源输入功率为 600 W 时,最大光电转换效率为

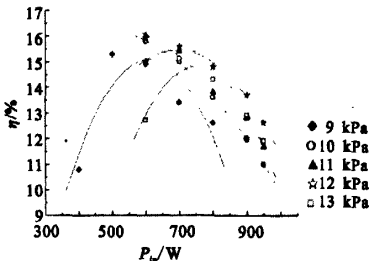


图 4 激光器光电转换效率图

Fig.4 Diagram of the laser photoelectric conversion efficiency

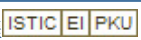
16%,当混合气体工作气压为 13 kPa 射频电源输入功率为 700 W 时,最大光电转换效率约为 15%,但这两种情况下,激光器输出功率并不是最大值。只有在混合工作气体气压 12 kPa,输入功率为 900 W 时,激光器的最佳输出功率才能达到 127 W,光电转换效率最佳值为 14%。

3 结 论

这种 RF 激励扩散冷却全金属板条波导 CO_2 激光器具有装置紧凑、封离运转、成本低、性能稳定、光束质量好、使用寿命长等优点,它获得了 127 W 输出功率,光电转换效率为 14%,而且远场空间呈现单峰输出^[9],光束质量优良,饱和光强 $1\,200\text{ W/cm}^2$,小信号增益 $1\%/ \text{cm}^{100}$ 。它的研制成功促进了我国射频激励扩散冷却全金属板条波导 CO_2 激光器技术发展。为研制千瓦级射频激励扩散冷却全金属板条波导 CO_2 激光器提供了技术准备。

参考文献:

- [1] HALL D R, BAKER H J. New laser technique of RF excited diffusively cooled CO_2 laser [J]. *Laser Focus World*, 1989, (6): 77-83.
- [2] COLLEY A D, HALL D R. Planar waveguide 1 kW CW, carbon dioxide laser excited by a signal transverse RF discharge [J]. *Appl Phys Lett*, 1993, 61: 136-138.
- [3] XIN J G, PENG X Y. Analysis of discharge uniformity in RF excited gas laser [C]// *Proceedings of 1995 International Conference on Optoelectronics and Laser*, 1995: 271-274.
- [4] XIN J G, WEI G H. Technological development and prospect of RF excited diffusively cooled CO_2 laser [C]// *Proceedings of SPIE*, 1994, 2321: 269-273.
- [5] XIN Jian-guo, WEI Guang-hui. RF excited diffusively cooled CO_2 laser technique development and prospect [J]. *Chinese Laser* (辛建国, 魏光辉. 射频激励扩散冷却 CO_2 激光器技术发展展望. 中国激光), 1994, 21(5): 371-376.
- [6] XIN J G, WAN P, WEI G H. RF-excited all-metal waveguide CO_2 laser [J]. *Applied Physics Letters*, 1991, 59(26): 3363-3365.
- [7] CHEN Lin, YANG Yong-qiang. Laser cleaning technology and its applications [J]. *Infrared and Laser Engineering* (陈林, 杨永强. 激光清洁技术及其应用. 红外与激光工程) 2004, 33(3): 274-277.
- [8] LI Fan, WU Shuang-yang, ZHENG Yong-chao, et al. Overview of the development of synthetic aperture lidar [J]. *Infrared and Laser Engineering* (李番, 邬双阳, 郑永超, 等. 合成孔径激光雷达技术综述. 红外与激光工程), 2006, 35(1): 55-59.
- [9] WU X F, YANG J, XIN J G. Analysis of the far spatial coherent suppressed single peak field distribution of a rectangular wave-guide laser [J]. *Chinese Physics*, 2007, 16(4): 1031-1037.
- [10] SU N, YAO S N, ZHONG Y H, et al. Parameter study of RF excited diffusively cooled all metal slab waveguide CO_2 laser [J]. *Chinese Optics Letters*, 2005, (3): 336-338.

作者: 李志明, 辛建国, LI Zhi-ming, XIN Jian-guo
作者单位: 李志明, LI Zhi-ming(内蒙古工业大学电力学院信控系, 内蒙古, 呼和浩特, 010080), 辛建国, XIN Jian-guo(北京理工大学信息科学技术学院光电工程系, 北京, 100081)
刊名: 红外与激光工程 
英文刊名: INFRARED AND LASER ENGINEERING
年, 卷(期): 2008, 37(2)
被引用次数: 3次

参考文献(10条)

1. HALL D R; BAKER H J [New laser technique of RF excited diffusively cooled CO₂ laser](#) 1989(06)
2. COLLEY A D; HALL D R [Planar waveguide 1 kW CW, carbon dioxide laser excited by a signal transverse RF discharge](#) 1993
3. XIN J G; PENG X Y [Analysis of discharge uniformity in RF excited gas laser](#) 1995
4. XIN J G; WEI G H [Technological development and prospect of RF excited diffusively cooled CO₂ laser](#) 1994
5. 辛建国; 魏光辉 [射频激励扩散冷却CO₂激光器技术进展与展望](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 1994(05)
6. XIN J G; WAN P; WEI G H [RF-excited all-metal waveguide CO₂ laser](#) 1991(26)
7. 陈林; 杨永强 [激光清洁技术及其应用](#)[期刊论文]-[红外与激光工程](#) 2004(03)
8. 李番; 郭双阳; 郑永超 [合成孔径激光雷达技术综述](#)[期刊论文]-[红外与激光工程](#) 2006(01)
9. WU X F; YANG J; XIN J G [Analysis of the far spatial coherence suppressed single peak field distribution of a rectangular wave-guide laser](#)[外文期刊] 2007(04)
10. SU N; YAO S N; ZHONG Y H [Parameter study of RF excited diffusively cooled all metal slab waveguide CO₂ laser](#) 2005(03)

本文读者也读过(10条)

1. 钟艳红. 辛建国. ZHONG Yan-hong. XIN Jian-guo [射频激励增益波导CO₂激光器的光强分布](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 2006, 33(8)
2. [电光调Q射频激励波导CO₂激光器](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 2000, 27(2)
3. 李贵安. 宋建平. 张相臣. 唐令西. 李貅 [射频激励平板CO₂激光器放电机理的理论研究](#)[期刊论文]-[激光杂志](#) 2002, 23(6)
4. 田兆硕. 王骐. 王雨三. Wang Yusan. WANG Qi. Tian Zhaoshuo [输出可调的电光调Q射频激励波导CO₂激光器的研究](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 2001, 28(6)
5. 田兆硕. 王骐. 王雨三. 李自勤. 陆威. Tian Zhaoshuo. Wang Qi. Wang Yusan. Li Ziqin. Lu Wei [光栅选支共电极双通道射频激励波导CO₂激光器](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 2000, 27(11)
6. 姚淑娜. 苏宁. 辛建国. YAO Shu-na. SU Ning. XIN Jian-guo [射频激励扩散冷却全金属矩形波导CO₂激光器的实验研究](#)[期刊论文]-[兵工学报](#) 2006, 27(6)
7. A Rauf. ZHOU Wei. XIN Jian-guo [Theoretical Studies of the Output Pulse with Variation of the Pumping Pulse for RF Excited CO₂ Pulsed Waveguide Laser](#)[期刊论文]-[兵工学报 \(英文版\)](#) 2006, 2(1)
8. 江建平. 孙鹏. 刘向东. 周鼎富. JIANG Jian-ping. SUN Peng. LIU Xiang-dong. ZHOU Ding-fu [紧凑型长寿命射频激励波导CO₂激光器的研制](#)[期刊论文]-[激光技术](#) 2009, 33(6)
9. 王宗旺 [射频激励CO₂激光器信号检测电路的分析与设计](#)[学位论文] 2008
10. 饶恒锐 [高功率板条波导CO₂激光器电极结构分析与设计](#)[学位论文] 2008

引证文献(3条)

1. 朱力钢, 姚建华, 周正强, 陈智君, 楼程华 [激光直接堆积成形2Cr13不锈钢的组织与力学性能分析](#)[期刊论文]-[红外与激光工程](#) 2011(5)
2. 马宝田, 吴逢铁, 马亮 [双锥透镜的对称近似无衍射贝塞尔谐振腔](#)[期刊论文]-[红外与激光工程](#) 2011(2)
3. 吴武明, 冷进勇, 周朴, 吴慧云, 许晓军 [高平均功率电能激光器研究进展](#)[期刊论文]-[红外与激光工程](#) 2011(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hwyjggc200802010.aspx