

文章编号: 1001-3806(2009)06-0670-03

## 紧凑型长寿命射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器的研制

江建平<sup>1,2</sup>, 孙 鹏<sup>3</sup>, 刘向东<sup>3</sup>, 周鼎富<sup>3</sup>

(1. 武汉工业学院 数理科学系, 武汉 430023; 2. 华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074; 3. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

**摘要:** 为了使 CO<sub>2</sub> 激光器在工业加工及军事上有更广泛的应用, 采用铝合金拉制型材作为激光器壳体、盘装电感代替传统线绕电感的结构以及全金属封接工艺等, 研制出一种紧凑型长寿命射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器。可连续输出或在 20kHz 调制频率下脉冲输出, 最大输出功率 30W, 实测工作寿命超过 1500h, 存储寿命超过 1.5a。结果表明, 这种激光器具有结构紧凑、输出功率稳定、工作寿命长、可连续及脉冲调制工作等特点, 除了能满足各种材料的加工, 也可在军事上应用。

**关键词:** 激光器; CO<sub>2</sub> 激光器; 真空封接; 长寿命; 紧凑型

**中图分类号:** TN248.2\*2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2009.06.032

### Study on a compact and long-life RF excited waveguide CO<sub>2</sub> laser

JIANG Jian-ping<sup>1,2</sup>, SUN Peng<sup>3</sup>, LIU Xiang-dong<sup>3</sup>, ZHOU Ding-fu<sup>3</sup>

(1. Department of Mathematics and Physics, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. School of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China; 3. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** In order to have more comprehensive application in industry and military fields, a compact and long-life radio frequency (RF) excited waveguide CO<sub>2</sub> laser was developed by means of Al-alloy laser housing, plate inductor coils instead of traditional rolling inductor, all-metal-sealed techniques and etc. The specifications of this laser are continuous or pulse output up to 20kHz modulating frequency, average laser output power up to 30W, over 1500h of working time and 1.5a of storage time. The results show that this laser has the characteristics of compact structure, steady output power, long life, continuous and pulse working-mode. It can be used both in industry and military fields.

**Key words:** lasers; CO<sub>2</sub> laser; vacuum sealing; long life; compact

## 引 言

CO<sub>2</sub> 激光器相比其它种类的激光器, 由于波段的不同, 使其在各种材料的切割、雕刻、标记、快速成型等加工领域应用较广<sup>[1-2]</sup>; 更重要的是, 这类器件在军事上也有广泛的用途<sup>[3-5]</sup>, 因而成为目前发展较为成熟的激光器件之一。采用射频激励的波导 CO<sub>2</sub> 激光器与采用直流激励的玻璃管结构的 CO<sub>2</sub> 激光器相比, 所具有的全金属结构、紧凑稳固及长寿命的特性, 使其目前发展较快, 并在高级激光加工设备中逐渐得到推广应用。西方发达国家对射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器的研究较早, 发展也较成熟, 制作工艺比较完善, 已有各种型号的商品器件出售。国内在器件的结构设计、制作

工艺、输出稳定性及工作存储寿命等方面与国外相比还存在一定的差距。

因此, 针对以上问题, 作者研制了这种紧凑型长寿命射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器。首先对器件的设计结构进行论述, 然后介绍了器件的封接工艺实验研究, 最后对这种紧凑型长寿命射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器进行了性能指标测试。

## 1 器件结构设计

所设计的射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器, 其结构示意图如图 1 所示。其中波导陶瓷板 (95% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 尺寸为 300mm × 55mm × 3.5mm, 采用金刚砂轮机机械研磨加工的方式形成 3 根 2.5mm × 2.5mm 折叠波导通道<sup>[6]</sup>, 波导通道总长度为 900mm。通道的交叉点在陶瓷板外约 3mm 位置, 以便于折叠腔镜的安装<sup>[7]</sup>, 谐振腔总长度为 912mm。采用这种方式形成波导通道不仅可以增强结构稳定性, 还可以保证后期批量加工时波导

作者简介: 江建平 (1968-), 男, 硕士研究生, 现主要从事光电子技术应用方面的研究。

E-mail: slxjip2004@yahoo.com.cn

收稿日期: 2009-04-29; 收到修改稿日期: 2009-07-01

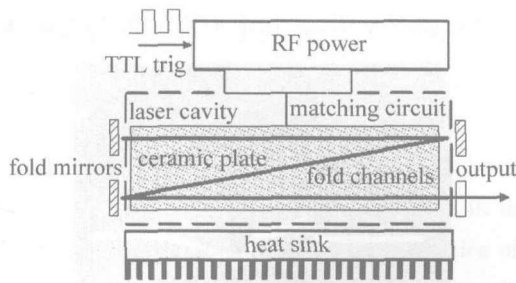


Fig. 1 Laser configuration

结构的一致性,从而提高了系统光路调试效率。

器件从外形看主要由金属铝外壳(材料牌号6061)、射频电源、左右谐振腔端盖及冷却组件(可根据需要采用水冷或风冷模块)组成。激光器外壳采用整体开模控制方式加工,在拉制好的箱体上再进行2次加工,形成所需的散热筋、固定孔和馈入头焊接孔等。该结构可大大减少器件的密封面积,以确保器件的密封性能及基准面和装配关键尺寸的精度要求。

激光器内部主要由陶瓷基板、电极、盘装电感、电极引线柱、馈入头等部件组成(如图2所示)。器件内

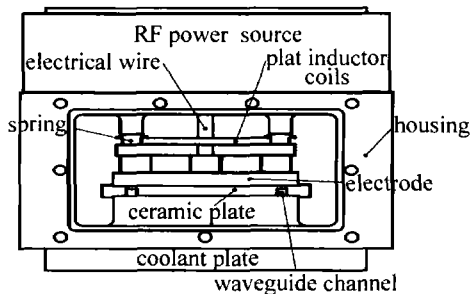


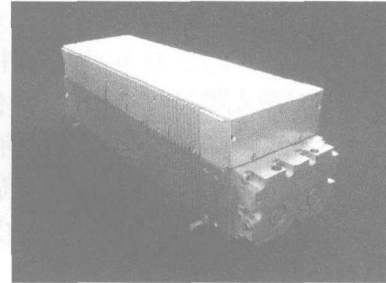
Fig. 2 Laser's interior configuration

部的谐振电感采用盘状电感结构,与电极成上下层状排列,该结构方式可以使器件的整体尺寸尤其是宽度方向上大大缩减。同时相比于线绕弹簧式电感结构,其电感值的稳定性,工程装配可靠性与可重复性均有很大的提高。器件内部的各个部件,包括上下电极、陶瓷波导、隔离板、电感等装调好后作为一整件从激光器箱体的一端推入到所需位置后进行机械固定与壳体连接。通过对器件的机加精度要求及工装的使用可以保证器件的定位精度及快速装配的可靠性。

在两个作为密封件的端盖上直接加工出谐振腔镜的安装位置和调节结构,其中波导通道折叠处的两块全反镜曲率半径为10m,另一块全反镜和输出镜为平面镜,输出镜为ZnSe材料。输出镜尺寸为 $\varnothing 10\text{mm} \times 3\text{mm}$ ,靠近波导一面镀半反膜,对 $10.6\mu\text{m}$ 激光反射率为80%,另一面镀增透膜,对 $10.6\mu\text{m}$ 激光透过率大于99.5%。通过外腔3点调节机构来进行谐振腔镜的调节,既便于精确调控,又使结构更加紧凑,以得到最佳的光束模式和最高的激光功率输出。

激光器所用小型射频电源工作频率为75MHz,通

过外部逻辑门电路信号进行电信号调制控制,激光器既可在连续模式下工作,也可工作于不高于20kHz的重频方式<sup>[8-9]</sup>。匹配网络和能量馈入部件集成于电源盒内,射频电源尺寸与激光头的尺寸相匹配,集成为一体化结构。激光器的实物照片见图3所示。

Fig. 3 CO<sub>2</sub> laser photograph

## 2 器件封接工艺试验研究

这种射频激励波导CO<sub>2</sub>激光器的工作气体气压约为大气压的1/10,所以,器件的整体密封性能对器件的长期稳定工作至为重要。传统气体激光器件的各密封面基本采用环氧胶封或橡胶圈密封,均难以保证器件的长期密封性要求。电真空理论表明,要实现真空器件的长期密封可靠性,采用全金属焊接封接工艺技术是一个重要的方法。

激光器射频功率馈入头作为射频能量的注入部件,采用膨胀系数很小的电真空陶瓷和可伐合金材料通过高温钎焊工艺制成。另外为了减轻整体器件的体积和成本,并考虑到器件的有效散热,采用铝合金作为外壳材料。而铝合金和可伐合金由于两者的膨胀系数、熔点、金相结构差异较大,要实现两者之间的满足一定真空性能要求的密封焊接在技术上难度较大。目前国外的同类商用器件有些采用真空氟橡胶来实现这种密封,但这种材料的抗高温冲击性能较差<sup>[10]</sup>。通过对多种焊接方法和焊接结构的反复试验及优化,采用真空钎焊技术,通过优化焊料的组分和焊接面结构以及焊接工艺,实现了铝与可伐合金的真空钎焊,在焊接面上形成了焊料与母材浸润性好,表面光滑无气泡的焊缝<sup>[11]</sup>。通过氦质谱检漏仪测试,焊缝漏率小于 $10^{-10}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ,完全满足这种激光器的真空密封要求。

此外,对作为激光输出窗口的ZnSe膜片与铝制端盖之间的封接,一般采用环氧胶封的方式来实现真空密封,同样难以保证器件的长期密封性要求。通过对原有技术的经验总结和工艺实验,在ZnSe膜片封接面通过真空溅射方式镀上一层金膜环,而在端盖封接面首先电镀一层金属镍,再通过真空溅射方式镀上一层金膜。两者密封面间采用工装配合后缠绕一圈钢丝放置与真空加热炉中,利用金属钎熔点低并和金膜浸润

性良好的特点,在不会破坏 ZnSe 膜片及其镀膜层的前提下,加热至合适温度并保温一段时间,待钢丝充分融化后在密封面间形成连续致密的焊缝从而完成焊接。通过氦质谱检漏仪测试,焊缝漏率小于  $10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。另外端盖与壳体之间也采用了金属铜冷积压封接方式进行密封。在器件制作过程中,采用了严格的电真空封接工艺,对电极及器件内表面进行严格老化处理,对激光器箱体内的各种材料进行包括烘烤、去气等处理工艺。器件内部的所有材料均为真空金属材料及电真空陶瓷材料,并通过高效低温催化还原技术,来保证器件的长时间工作寿命要求。

### 3 试验结果

#### 3.1 器件整体指标参量

整体器件尺寸为  $365 \text{mm} \times 94 \text{mm} \times 109 \text{mm}$ ; 输出功率为  $3 \text{W} \sim 30 \text{W}$  (在外调制频率  $10 \text{kHz}$ 、占空比为  $10\% \sim 100\%$  时,输出平均功率与触发脉冲占空比的试验关系曲线见图4); 脉冲输出调制频率可由 DC 至

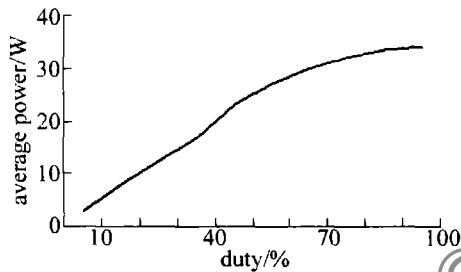


Fig. 4 Schematic of average output power with the duty cycle of trig pulse  $20 \text{kHz}$ ; 光束发散角为  $5 \text{mrad}$ ; 线形偏振 (大于  $100:1$ ), 平行底板; 功率稳定性为  $\pm 5\%$  ( $30 \text{W}$ ); 器件整体漏率小于  $5 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ; 冷却方式为水冷或风冷。

#### 3.2 输出功率稳定性测试

图5是在外调制频率为  $10 \text{kHz}$ 、占空比为  $40\%$ 、激光器连续工作  $50 \text{h}$ , 实时监测其功率随时间的变化情况。从图中可以看出器件的输出功率稳定在  $\pm 5\%$  之

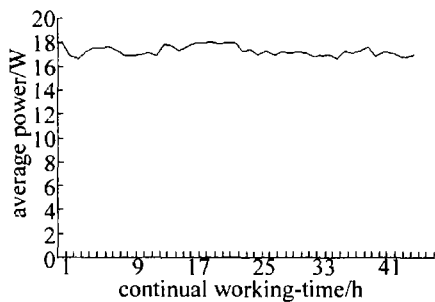


Fig. 5 Variation of average output power

内。截至目前为止,该器件已经封离存储超过  $1.5 \text{a}$ , 实际工作寿命合计大于  $1500 \text{h}$ , 输出功率没有明显下降。

#### 3.3 激光输出脉冲波形

在外调制频率为  $10 \text{kHz}$ 、占空比为  $40\%$ 、测得激光

的输出波形如图6所示,其中上面波形为激光脉冲的

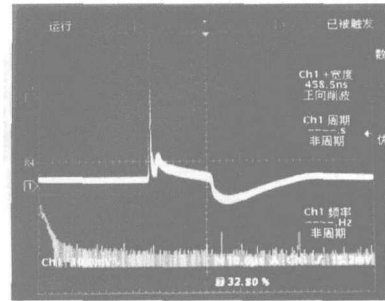


Fig. 6 Waveform of the output laser pulse

时域波形,下面为其频域谱图。从脉冲波形看出,在脉冲波形前部出现一个巨型脉冲,宽度约  $100 \text{ns}$ 。巨脉冲后为激光脉冲功率输出的平台区。由于探测器带宽及电耦合方式等原因,造成平台区激光脉冲波形的变形。

### 4 结论

通过对传统结构和工艺的改进与创新,研制出的这种紧凑型长寿命射频激励波导  $\text{CO}_2$  激光器,具有输出功率稳定、器件紧凑体积小、工作寿命长、可连续及脉冲调制工作等特点,除了能满足各种材料的切割、雕刻等工业加工,也可在军事上应用。

#### 参考文献

- [1] WANG Y Y.  $\text{CO}_2$  laser processing machine and its development [J]. OME Information, 2006, 23(9): 36-41 (in Chinese).
- [2] WANG Y L, WU H L, XIAO M Q, et al. Overview of phylogeny and outstanding performances for RF-excited  $\text{CO}_2$  laser [J]. Laser & Infrared, 2001, 31(1): 10-12 (in Chinese).
- [3] AHLBERG H, LUNDQVIST S, LETALICK D, et al. Imaging Q-switched  $\text{CO}_2$  laser radar with heterodyne detection; design and evaluation [J]. Appl Opt, 1986, 25(17): 2891-2892.
- [4] CHOI J W, JUANG Y B, STRZELEC M, et al. Frequency stabilization of RF-excited  $\text{CO}_2$  lasers [J]. SPIE, 2002, 3729: 308-311.
- [5] WANG J Y, ZHOU D F, CHEN J G, et al. RF excited waveguide  $\text{CO}_2$  laser with controllable width of cavity-dumping pulse [J]. Laser Technology, 2007, 31(1): 25-28 (in Chinese).
- [6] TIAN Z S, WANG P H, MU J L, et al. Study on RF excited Z-fold partial waveguide  $\text{CO}_2$  Laser [J]. Laser & Infrared, 2003, 33(5): 348-349 (in Chinese).
- [7] KENNEDY J T, HART R A, NEWMAN L A, et al. High power waveguide laser: US, 6788722 B1 [P]. 2004-09-07.
- [8] CAO F G, WANG X B, WANG L, et al. Practical power controller design for RF excited  $\text{CO}_2$  lasers [J]. Laser Journal, 2004, 25(4): 20-21 (in Chinese).
- [9] YE X Y, WANG S L, HE Y G. Power controlling and the controller design for RF excited  $\text{CO}_2$  lasers [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2001, 12(2): 151-153 (in Chinese).
- [10] WANG Y Z, CHEN X. Vacuum technology [M]. 2nd ed. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2007: 503-507 (in Chinese).
- [11] LÜ X Q, YANG S L, WU Y X, et al. Transitional layers brazing of Al-alloy and stainless steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2004, 25(1): 95-98 (in Chinese).