

射频激励金属-陶瓷结构矩形波导 CO₂ 激光器的设计与工艺

刘玉华¹, 唐令西²

(1. 佛山科学技术学院物理系, 广东 佛山 528000; 2. 西北大学物理系, 陕西 西安 710069)

摘要:通过分析波导激光器中的耦合损耗, 给出了金属-陶瓷结构 CO₂ 波导激光器的设计方案, 并对 2 mm × 2 mm × 140 mm 的金属-陶瓷结构 RF 激励波导 CO₂ 激光器进行了实验研究, 获得 3.39 W 的输出功率, 效率为 6%。该项研究对此类器件的进一步发展提供了技术借鉴。

关键词:金属-陶瓷结 CO₂ 波导激光器; 耦合损耗; 光洁度; 内外电极结构

中图分类号: TN248.2⁺2 **文献标识码:** A

Design and technique of RF-excited metal-ceramic rectangle waveguide CO₂ laser

LIU Yu-hua¹, TANG Ling-xi²

(1. Physics Department, Foshan University, Foshan 528000, China; 2. Physics Department, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: By the ways of analyzing coupling loss of waveguide laser, designing the program of metal-ceramic waveguide CO₂ laser and carrying out experimental research for 2 mm × 2 mm × 140 mm RF-excited metal-ceramic waveguide CO₂ laser, we can get 3.39 W output power and 6% efficiency. The article provides technical references to the domestic development of this type of appliance.

Key words: metal-ceramic CO₂ waveguide laser; coupling loss; smooth finish; inside and outside electrode structure

1 引言

1964年, Marcatili 和 Schmeltzer 推导出中空介质波导中, 光频波的传播为低损耗, 并据此建立了波导激光器。波导激光器具有增益带宽宽、体积小、输出功率高等优点。而矩形介质波导激光器容易加工, 可采用横向放电激励, 能直接与相同截面的腔内调制器有效耦合, 其波导本征模 EH₁₁ 损耗最低, 具有线偏振特性且在波导管轴线上强度最大, 因而在实践中具有重要的意义。我们根据矩形介质波导激光器的原理, 设计了内外电极结构的两种矩形波导 CO₂ 激光器^[1]。

2 损耗分析

波导激光器非涅耳数 $N \leq 1$, 当给定波导管横向尺寸 a , 波导管长度 l , 非涅耳数由式(1)决定:

$$0 < N = \frac{a^2}{\lambda l} \leq 1 \quad (1)$$

根据波导腔模理论^[2], 在矩形波导激光器中, 只存在 EH_{mn} 模, 且对于任何介质常数, 其主波总是 EH₁₁ 模, 该模损耗最低。虽然由于工作气体的折射率总是小于介质材料的折射率, 在波导壁上不可能实现全反射, 总有一部分光由于折射进入壁内而引起波导模的损耗, 但是, 如果介质材料选择合适, 当光在掠射角很小的光学面上入射时, 其光波在波导管内能量的传输是沿对壁的掠角多次反射的, 因而可以得到很高的菲涅耳反射, 波导本征模 EH₁₁ 的损耗很低, 可忽略不计。当光波到达波导口后, 向自由空间辐射, 经反射镜反射再反馈回到波导中形成持续振荡, 在此过程中, 光场将受到扰动而只能有一部

作者简介: 刘玉华(1963-), 女, 副教授, 理学硕士, 主要研究方向是新型气体激光器件的研究。E-mail: miss-lau@tom.com

收稿日期: 2009-09-15; **修订日期:** 2009-11-18

分能量返回波导,其中又只有一部分能量耦合到同一模中去,从而引入耦合损耗。研究表明,在波导激光器中,反射镜的耦合损耗在以下三种不同条件下最低:

(1)平面镜越靠近波导管端部,耦合损耗越低;

(2)曲率半径较小的反射镜,其曲率半径一半等于以波导入口到反射镜的距离时,激光器的耦合损耗低;

(3)曲率半径较大的反射镜,当反射镜的曲率中心在波导管入口处时,耦合损耗低。

我们采取第一种结构,将平面镜垂直于管轴并贴在波导口上便可得到几乎是 100% 的耦合,即可认为是无耦合损耗。另外,波导轴线的弯曲也可造成对光场的扰动而引入附加的损耗。解决的办法是利用氧化铝良好的导热性能以及下电极优良的散热设计以减少由温度造成的波导的弯曲。在忽略了散射、吸收因素下,锩透镜的透过率对谐振腔也有一定的损耗。

考虑到以上因素,在我们设计矩形波导 CO₂ 激光器时,除采用最佳耦合的结构方案外,尽可能地提高波导内壁的光洁度。在满足单程增益大于单程损耗的情况下,增加腔内增益以获得高功率密度的输出。

3 陶瓷-金属封接特性

采用陶瓷-金属封接现已在电真空器件中得到普遍应用。对超高频、大功率、高可靠、小型化器件的发展具有重要的意义,并已显示出其突出的优点^[3]:

(1)电特性:陶瓷在高温下介质损耗小,绝缘强度高。因此,有助于提高器件的输出功率,并为大功率激光器的制造提供了可能性。

(2)热特性:陶瓷可以耐 700 ~ 1000 °C 以上的高温,因而不但可以提高器件的除气温度,延长器件的寿命,而且允许提高器件的工作温度和输出功率,缩小器件的体积。

(3)机械性能:陶瓷的机械强度数倍于玻璃,而金属-陶瓷结构可耐到 10000 g 的加速度,容易加工成尺寸精密的零件,形变小,故可提高器件的稳定性能。

我们设计并研制的矩形介质波导 CO₂ 激光器采用 95% 的氧化铝瓷。这种 95 瓷是目前国内外微波器件和大功率器件最常用的材料,它具有强度高、高频损耗小、热电性能较优越等特点并且其金属化封接工艺成熟,对制造大功率激光器件提供了可靠

的技术保证。

4 内电极结构设计

此类激光器主要由放电机芯、谐振腔和储气外壳三大部分组成,图 1 为激光器总体结构图,图中各部分组成如表 1 所示。

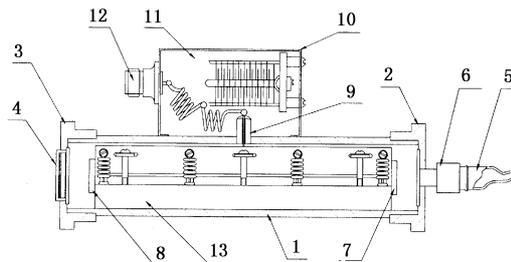


图 1 RF 波导 CO₂ 激光器总体结构图

(1)放电机芯:放电机芯是设计关键,它由上下电极和陶瓷隔板组成放电区,RF 激励源加在上下电极中心处,电极由铝材料(Ly-12)制成。陶瓷隔板为条形,采用 95 氧化铝陶瓷,经研磨加工制成。为了使放电区放电均匀,在机芯中沿纵向分布设置平行谐振电感器以减小纵向电压的变化,电感分布在上下铝电极的两侧,一边四个,共八个,其电感量值取决于所采用的射频电源激励频率和电极间的等效电容。我们采用的射频电源,其激励频率为 95MHz。如果电极间结构电容为 C ,则平行谐振电感总量 L 由式(2)、式(3)决定:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \quad (3)$$

其中,电容 C 可以通过平行平板电容公式 $C = \epsilon_0 \frac{s}{d}$,估算或通过电容测试仪测量。我们设计的 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 的金属-陶瓷结构的激光器, $C = 1.24 \text{ pF}$, $L = 7.12 \text{ }\mu\text{H}$ 。由于计算所得电感值与实际电感量值有一定的差别,为精确测量其电感和频率特性,我们采用 BT-3A 频率特性测试仪对平行谐振电感进行精确选择,使匹配网络与激励源在激励频率上谐振,使激励源电功率高效地转换到激光器的气体放电中,以达到提高器件的输出功率。实验表明,这是一个很有效的方法,而且很精确,具有普遍的指导意义^[4]。

(2)谐振腔:我们采用损耗分析的第一种结构,即将平面镜垂直于波导激光管轴并紧贴在波导上,采用透过率为 8% ~ 14% 的锩平面镜和镀金全反射镜,以达到无耦合损耗。

(3)储气外壳:储气外壳主要起到储存 CO₂ 混

合气体、固定机芯和真空密封的作用。我们采用不锈钢制成,它的一端封有硒化锌窗口,另一端为可伐玻璃封接端口,封接玻璃管的目的是激光器与真空系统易于连接,便于进行真空处理及充气,同时也便于封离。

表1 RF波导CO₂激光器件名称表

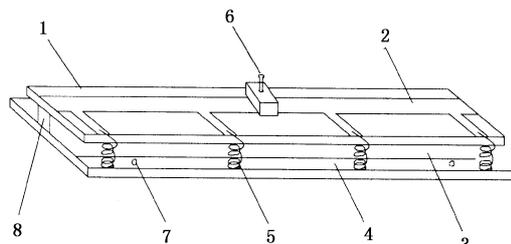
编号	名称	材料
01	外套管	不锈钢
02	后端盒	合金铝
03	前端盒	合金铝
04	窗片	硒化锌
05	可伐接头	可伐
06	玻璃封头	8#玻璃
07	全反射镜	
08	锗透镜	
09	高频引出线	铜线
10	屏蔽罩	铜板
11	匹配网络	电感 可变电容
12	射频接头	
13	放电机芯	

5 外电极结构设计

外电极放电指将两个电极放在充气容器的外边或两个电极与气体之间有电解质隔离的情况下,在高频电源激励下产生的放电现象。这种形式的放电,壁电荷起了很大的作用,每次着火时工作物质的电场强度大,可获得在一般辉光放电和弧光放电中所不能得到的激发能量很高的原子和准分子。由于这种情况下的壁电荷在电极上分布均匀,从而放电在整个体积中也比较均匀,这将对制作RF激励CO₂激光器有明显的特点。

我们设计制作的RF激励波导CO₂激光器是采用95氧化铝和不锈钢材料进行金属化封接工艺制成,机芯结构如图2所示,其总体结构与内电极结构相同,机芯上电极瓷片为厚1mm左右的瓷片,经磨床加工而成,其上面通电真空镀膜形成上电极。放

电槽瓷板厚度4mm,在中心部用金刚石切刀切出深2mm,宽2mm的槽,其光洁度在▽6以上,然后进行金属处理与1~2mm的同尺寸无氧铜板真空焊接成一体,最后将上压板与放电槽体用机械方式固定在一起成为RF放电体。



1 - 上电极陶瓷压片;2 - 镀制金属上电极;3 - 放电槽陶瓷板;4 - 无氧铜下电极;5 - 分布电感;6 - RF引入线;7 - 固定孔;8 - 放电区;

图2 外电极机芯结构

6 结果

设计并制作了2mm×2mm×140mm的金属-陶瓷结构的RF激励波导CO₂激光器,采用内电极结构。在RF源频率为95MHz,激光器气体混合比O₂:N₂:H₂+Xe为1:0.9:2.3+4.7%Xe的情况下,获得了输出功率为2.39W、效率为6%的连续偏振光的输出^[5]。本项研究探索出一套金属-陶瓷结构CO₂激光器腔体的成型工艺和技术数据,对国内今后此类器件的研究提供了技术借鉴。

参考文献:

- [1] 王又良,等. 射频激励CO₂激光器综述[J]. 激光与红外,2001,31(1):10-12.
- [2] 马羊武,陈钰清. 激光器件[M]. 杭州:浙江大学出版社,1994.
- [3] 顾树义. 新型结构的金属陶瓷He-Ne激光器[J]. 激光与红外,1980,12:6.
- [4] 刘玉华,等. 新型矩形波导CO₂激光器RF转换效率的研究[J]. 西北大学学报,1992,2:157-162.
- [5] 刘玉华. 矩形波导CO₂激光器[J]. 西北大学学报,1999,29(2):4.