

全金属环状波导 CO₂ 激光器结构设计

吴志伟

(泉州师范学院 物理与信息工程学院,福建 泉州 362000)

摘 要:从大功率、小型化的角度将全金属环状波导 CO₂ 激光器与传统的波导 CO₂ 激光器进行对比,简要分析了该器件的特点、优势;从光学性能、机械结构两方面对全金属环状波导 CO₂ 激光器的结构设计进行分析,并由此得到器件结构的具体参数.

关键词:金属;环状波导;CO₂ 激光器

中图分类号:TN248.2

文献标识码:A

文章编号:1009-8224(2010)04-0038-04

传统 CO₂ 激光器庞大的体积制约了其进一步的应用,大功率、小型化是 CO₂ 激光器未来的发展趋势. 为了实现器件的高功率、小型化,人们从器件结构、材料、激励方式、冷却技术等方面进行广泛研究,取得了很大进展,具有波导结构的 CO₂ 激光器就是一种典型的器件. 当前国内外的研究工作主要集中在圆形、矩形和平板结构波导上^[1-4],关于环状结构波导的研究在文献中鲜有报道. 全金属环状波导 CO₂ 激光器是一种结构新颖的器件,本文就其结构设计进行讨论.

1 全金属环状波导结构特点分析

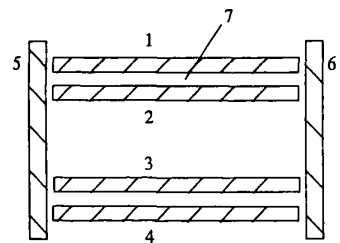
全金属环状波导结构如图 1 所示. 与传统的波导结构相比,环状波导有以下特点:

(1)采用环状谐振腔,单位长度具有更高的增益. 由激光原理可知,激光器的输出功率是由谐振腔相干模体积决定. 对平行平面腔体的波导来讲,近似可以认为波导区的体积就是相干模体积. 单位长度环状波导的谐振腔体积约是同长度一维平板波导谐振腔体积的 6 倍.

(2)采用环状谐振腔,结构更紧凑. 对环状波导谐振腔来讲,内、外环的平均半径 R 每增加一个单位长度,周长约增加 6 个单位长度,体积增加 $6aL$ 个单位(a 是波导横截面径向宽度, L 是谐振腔长度);而对一维平板波导谐振腔来讲,增加相同体积,平板宽度要增加 6 个单位长度. 由此可知,增加相同的输出功率,环状波导谐振腔外形尺寸上的变化要比一维平板波导谐振腔小得多.

(3)采用射频横向放电激励技术. 传统的波导 CO₂ 激光器采用纵向直流激励方式,激励电压高、能耗高、难以进行持续放电. 自从 1977 年射频横向激励波导 CO₂ 激光器技术出现以来,该技术得到迅速的发展,逐步成为一种新的、实用的激励技术. 20 世纪 90 年代,英国在 $80\text{ cm} \times 25\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的体积上得到千瓦级的输出功率^[5]. 全金属环状波导 CO₂ 激光器在结构上采用谐振腔与电极一体化的设计,两金属电极即是谐振腔体的内、外壁. 该结构使得采用射频横向激励技术成为可能.

(4)采用大面积扩散冷却技术. 全金属环状波导 CO₂ 激光器采用全金属结构,两块大面积金属电极构成波导区. 大面积放电区域能够较容易实现大面积扩散冷却技术. 与传统的依靠罗茨泵产生快速流动气流进行冷却的方式相比,大面积扩散冷却方式功耗更低、噪声更小、体积更小.



1. 金属外电极;2. 金属内电极;
3. 金属内电极;4. 金属外电极;
5. 全反射镜;6. 输出镜;7. 波导区.

图 1 环状波导结构示意图

收稿日期:2010-03-17

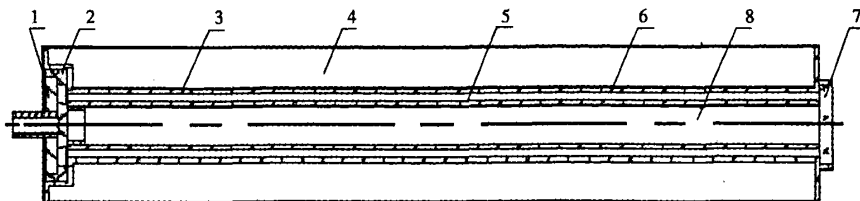
作者简介:吴志伟(1981-),男,福建泉州人,讲师,硕士,从事激光技术研究.

由此可知,相比传统的一些波导结构,全金属环状波导结构在实现器件高功率、小型化上更具优势。

2 全金属环状波导 CO₂ 激光器结构设计

2.1 器件整体结构设计

全金属环状波导 CO₂ 激光器采用内腔式平行平面腔结构(如图2所示),整机由8个部分组成。



1. 全反射镜;2. 隔离环;3. 外电极;4. 贮水腔;5. 内电极;6. 谐振腔;7. 输出镜;8. 贮气室

图2 全金属环状波导 CO₂ 激光器结构图

图2中:全反射镜表面镀金;隔离环由陶瓷制成,用于内、外电极之间的绝缘,内、外电极在波导区域必须产生射频放电,因此内、外电极之间必须有效绝缘,一旦导通,放电将无法进行;外电极表面镀银防止氧化;贮水腔存放冷却用水。激光器工作过程会产生大量的废热,如不能及时排除将降低器件输出功率,并可能对器件本身产生损坏;内电极表面镀银防止氧化;谐振腔由外电极内表面、内电极外表面、两腔镜所构成的环状区域。此区域为放电区域,工作气体在此区域受激发产生光,并在两腔镜之间振荡,增强形成连续的激光输出;输出镜采用 ZnSe 材料;贮气室与放电区域同轴相通,但其不发生放电。贮气室的作用在于有效地延长激光器的使用寿命。当器件运行一段时间后,由于泄漏,受腔内光学元件的真空放气、吸收、吸附等因素的影响,工作气体的配比、纯度以及总气压都将发生变化,将导致输出功率的下降。而贮气室可以有效减缓不良因素的影响,达到稳定输出功率的作用。

在本设计中没有采用可调节的腔镜,而是采用固定的腔镜结构。主要是考虑到,可调节的腔镜结构的机械稳定性较差,易损坏。而本设计中的激光器对于腔镜的平行度以及垂直度的要求并不是很高,无需调节机构进行微调。这主要是因为本设计中的激光器,当光在谐振腔内传输时,在管壁上形成掠入射,具有很高的反射率,近似地可以认为光是以全反射的形式进行传输。因此,对腔镜的平行度以及垂直度的要求并不严格,依靠机械装配就可以满足其的精度要求,无需再添加调节机构。

2.2 谐振腔结构设计与优化

激光器是一种精密仪器,器件工作时零部件(特别是波导区)的形变会对输出功率、光束质量产生负面影响。激光器工作时的实际状态是:谐振腔内充的是高压气体,在贮水室内充满散热用的水,两者对谐振腔外壁挤压,造成谐振腔外壁的变形;内电极由于自重会造成变形。本文从三种模型(如图3所示)出发对谐振腔结构进行分析。

3种结构的区别在内电极(见图3)。(a)结构:内电极一端固定于全反射镜,一端悬空;(b)结构:内电极一端固定于全反射镜,一端上开了对称的3个小槽,用小陶瓷片将内电极支撑于外电极;(c)结构:内电极一端固定于全反射镜,在输出镜上开孔,将内电极另一端固定于输出镜之上。

如果单纯从光学性能角度考虑,(a),(c)结构比(b)结构要好,因为(b)结构在光路上有三个对称的支撑物,会阻挡光的导行,在一定程度上会降低光的输出功率;而(a),(c)结构没有这种损耗。如果单纯从机械结构方面考虑,(a)结构是最差的。从图3可以看出为了加工上的方便,内电极是分为两部分加工,再装配起来的,之后整个套在全反射镜上。装配时小的误差,传递到输出镜端可能被放大很多倍,内外电极之间的同轴度会被破坏,情况严重的可能导致功率无法输出。所以,(a)结构的整体稳定性是最差的。从上面的分析可以看出,(c)结构从理论上讲是最佳结构,光路通畅,机械结构稳定。但是在实际研制过程中,发现要在直径25 mm的 ZnSe 镜片上开一个直径20 mm的孔是不可能,大的内应力使镜片很脆弱,微小的振动就会导致镜片的破裂,这样的镜片是无法承受激光能量冲击的。因此,在实用中(c)结构是不可行的。

权衡各方面的利弊,本设计采用(b)结构作为全金属环状波导 CO₂ 激光器谐振腔的结构,支撑物采用小陶瓷片。

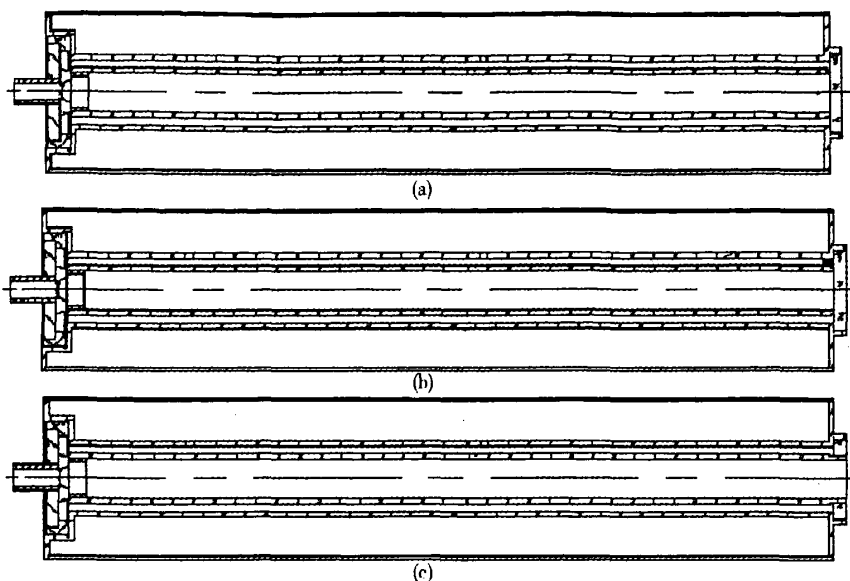


图 3 3 种谐振腔结构示意图

在(b)结构基础上,利用有限元软件 ANSYS^[6]对谐振腔工作时的形变情况进行分析。

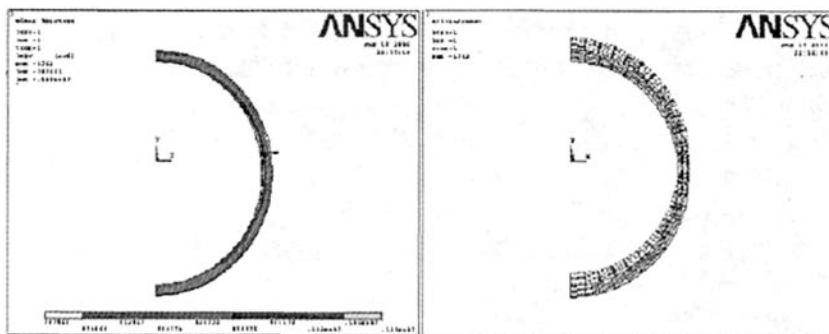


图 4 工作状态下外电极形变与应力云图

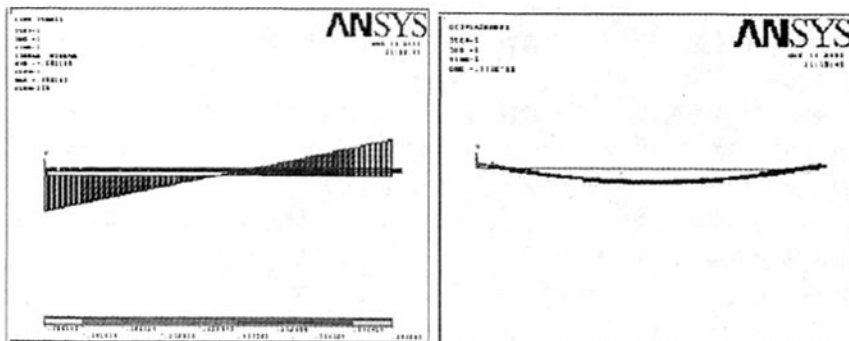


图 5 工作状态下内电极形变与应力云图

图 4、图 5 显示了在工作状态下,内、外电极的受力、形变的大小和分布情况。分析结果表明,在内、外电极厚度取 0.5 mm 的情况下,内、外电极的形变不会对激光器的正常工作造成影响。谐振腔结构设计是合理的。

2.3 光学参数设计

2.3.1 谐振腔长度 根据激光原理可知,激光在谐振腔内振荡,是以驻波的形式存在。因此,只有当谐振腔的长度满足半波长的整数倍,才能够得到激光输出,所以说谐振腔还具有选频的功能。从理论上讲,CO₂ 可以

产生 10.6 μm, 9.6 μm 两个波长段的激光. 在本设计中, 选定 10.6 μm 作为输出激光的波长, 再结合所设计的输出功率设定谐振腔长度 $L = 250$ mm.

2.3.2 谐振腔波导间隙 本设计中激光器为波导激光器, 其谐振腔的一个典型特征为波导非涅尔系数 $N \leq 1$,

$$N = \frac{a^2}{\lambda}, \quad (1)$$

其中: a 为波导间隙^[7].

如果不满足 $N \leq 1$ 的条件, 光在谐振腔内将按自由空间规律传播.

典型的波导激光器的波导间隙在 0.7~2.5 mm 之间. 间隙选得小, 能够提高选模的效果, 容易得到单模输出; 同时对于谐振腔两端腔镜的形位公差的要求相对来得低; 但也不是越小越好, 间隙越小, 光在谐振腔内的损耗也越大, 同时会带来装配上的困难. 所以权衡各方面的得失, 选择一个恰当的间隙是十分重要的. 在本文的设计中, 设定 $a = 2.25$ mm. 将代入式(1), 可以得到

$$N \approx 0.487 < 1. \quad (2)$$

因此, 波导间隙为 2.25 mm 的设计是合理的.

2.3.3 谐振腔的耦合损耗 本设计中, 激光束通过全反射镜、输出镜与谐振腔耦合. 两者之间耦合损耗构成了激光器的主要损耗. 现有的理论和实践表明, 谐振腔的耦合损耗大小主要取决于镜片与波导口之间的间距.

理论上, 环状波导激光器存在三种低损耗的谐振腔结构: (1) 腔镜采用平面镜, 置于波导口处; (2) 腔镜采用大曲率半径的复曲面镜, 其镜面焦点近似在波导口处; (3) 腔镜采用短曲率半径的复曲面镜, 腔镜距波导口距离为其曲率半径的一半^[8]. 出于结构小型化的考虑, 本设计采用第一种结构, 腔镜都采用平面镜, 输出镜置于波导口, 全反射镜与波导口之间间隔一个陶瓷隔离环的距离, 约 3~5 mm.

3 小结

全金属环状波导 CO₂ 激光器的设计是实现 CO₂ 激光器高功率、小型化的一次有益探索, 为新器件的研究提供了一种有价值的思路. 目前, 该器件已经完成理论设计和样机加工, 进入实验阶段, 激光器及其实验装置如图 6 所示. 该器件的输出横模为环状模式, 可直接用于打孔(冲孔). 同时, 由于光斑为环对称, 也可方便地进行光束的变换、整形.

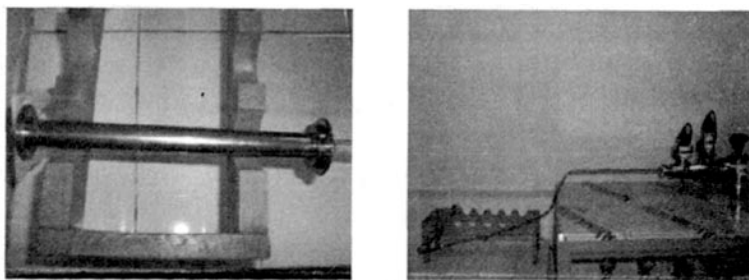


图6 激光器实物图及其实验装置

参考文献:

- [1] ABRAMS R, CHESTER A. Resonator theory for hollow waveguide lasers[J]. Appl Opt, 1974, 13, 2117-2125.
- [2] AVIRILLIER S, VERDONCK J. Coupling losses in lasers resonator containing a hollow rectangular dielectric waveguide[J]. Appl Phys, 1977, 48(12): 4937-4941.
- [3] 辛建国, 方高瞻, 彭雪云, 等. 射频激励扩散型冷却层叠式板条波导千瓦 CO₂ 激光器[J]. 光学学报, 1996, 16(6): 877-879.
- [4] 王新兵. 波导阵列 CO₂ 激光器的研究进展[J]. 激光杂志, 2002, 23(1): 5-7.
- [5] 辛建国, 魏光辉. 射频横向激励扩散型冷却 CO₂ 激光器技术的进展和前景[J]. 中国激光, 1994, 21(5): 371-376.
- [6] 张倩, 胡仁喜, 康士廷, 等. ANSYS12.0 电磁学有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 蔡伯荣, 魏光辉, 王瑞丰, 等. 激光器件[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1981.
- [8] 王又青, 黄新堂, 陈清明, 等. 同轴圆筒波导激光器谐振腔的耦合损失及模式特征[J]. 光学学报, 1999, 19(10): 1341-1346.

(下转第 54 页)

- [7] MIKSCH G, NEITZL R, FIEDLER E, et al. Extracellular production of a hybrid β -glucanase from *Bacillus* by *Escherichia coli* under different cultivation conditions in shaking cultures and bioreactors[J]. *Microbiol Biotechnol*, 1997, 47: 120-126.
- [8] MIKSCH G, NEITZEL R, FRIEHS K, et al. Overexpression of the phytase from *Escherichia coli* and its extracellular production in bioreactors[J]. *Microbiol Biotechnol*, 2002, 59: 685-694.
- [9] BORRIS R, OLSEN O S, THOMSEN K K, et al. Hybrid *Bacillus* endo-(1-3, 1-4)- β -glucanases; construction of recombinant genes and molecular properties of the gene product[J]. *Carlsberg Res Commun*, 1989, 54: 41-54.
- [10] J. 萨姆布鲁克, D. W. 拉塞尔. 分子克隆实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [11] GARCIA B, MARGOLLES E, ROCA H, et al. *Penicillium minioluteum* (clone pUDEX) dextranase (Dex) gene, complete cds: America, L41562[P], 1996.

Construction of a Recombinant *Escherichia Coli* DH5 α for Dextranase Expression

ZHONG Li-juan¹, Bwegendaho Damien¹, NIU Mu², ZHANG Min¹, LU Ying-hua¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, 212013, China)

Abstract: The promoter of dextranase was PCR-amplified from pLF3 vector and inserted into pLF3 plasmid, from which the genes encoding a promoter and β -glucanase had been removed, yielding pLF3-Pro. The DNA encoding the dextranase was PCR-amplified from the total DNA of *Penicillium minioluteum* MUCL 38929 and cloned into pLF3-Pro vector. The recombinant plasmid pLF3-Pro-Dex was constructed and checked through PCR, restriction enzyme digestion and DNA sequencing. Results shows that the recombinant plasmid pLF3-Pro-Dex is successfully constructed.

Key words: Dextranase; *Penicillium minioluteum*; expression; *Escherichia coli*

(上接第 41 页)

Construction Design of the Annular Waveguide CO₂ Lasers with All-metallic Materials

WU Zhi-wei

(School of Physics and Information Engineering, Quanzhou Normal University, Fujian 362000, China)

Abstract: Compared with the traditional waveguide CO₂ lasers in high-power and compact, the features and advantages of the new device are summarily analyzed. The construction design of the annular waveguide CO₂ lasers with all-metallic materials is analyzed from optics and mechanics, therefore the detailed parameters of the device construction are given.

Key words: metal; annular waveguide; CO₂ lasers

作者: 吴志伟, [WU Zhi-wei](#)
作者单位: 泉州师范学院, 物理与信息工程学院, 福建, 泉州, 362000
刊名: [泉州师范学院学报](#)
英文刊名: [JOURNAL OF QUANZHOU NORMAL UNIVERSITY](#)
年, 卷(期): 2010, 28(4)

参考文献(8条)

1. ABRAMS R;CHESTER A [Resonator theory for hollow waveguide lasers](#) 1974
2. AVIRILLIER S;VERDONCK J [Coupling losses in lasers resonator containing a hollow rectangular dielectric waveguide](#) 1977(12)
3. 辛建国;方高瞻;彭雪云 [射频激励扩散型冷却层叠式板条波导千瓦CO₂激光器](#)[期刊论文]-[光学学报](#) 1996(06)
4. 王新兵 [波导阵列CO₂激光器的研究进展](#)[期刊论文]-[激光杂志](#) 2002(01)
5. 辛建国;魏光辉 [射频横向激励扩散型冷却CO₂激光器技术的进展和前景](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 1994(05)
6. 张倩;胡仁喜;康士廷 [ANSYS12.0电磁学有限元分析从入门到精通](#) 2010
7. 蔡伯荣;魏光辉;王瑞丰 [激光器件](#) 1981
8. 王又青;黄新堂;陈清明 [同轴圆筒波导激光器谐振腔的耦合损失及模式特征](#)[期刊论文]-[光学学报](#) 1999(10)

本文读者也读过(4条)

1. 许晓勇 [使用ANSYS在机械结构分析过程中的体会](#)[期刊论文]-[大众科技](#)2006(7)
2. 傅恩生 [高功率扩散冷却CO₂激光器的进展](#)[期刊论文]-[激光与光电子学进展](#)2002, 39(8)
3. 邵春雷 [一种新型大功率脉冲CO₂激光器主机结构](#)[期刊论文]-[光机电信息](#)2010, 27(11)
4. 韩廷华. [Han Tinhua](#) [2A12-T4铝合金零件去应力处理工艺研究](#)[期刊论文]-[空间电子技术](#)2009, 6(4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_qzsfxyxb201004010.aspx