

射频激励扩散型冷却层叠式板条波导千瓦 CO₂ 激光器*

辛建国 方高瞻 彭雪云 王 澎 魏光辉 张经武

(北京理工大学信息工程学院光电工程系, 北京 100081)

摘 要 提出一种射频激励扩散型冷却层叠式板条波导 CO₂ 激光器结构。利用这种结构, 从电极长度为 500 mm 的激光器件中警告了 1020 W 输出, 其光电效率为 10%。

关键词 射频激励, 层叠式, 板条波导, CO₂ 激光器。

1 引 言

自 1989 年 Hall 等人^[1]首次报道了面增比技术(Area Scaling)以来, 射频激励扩散型冷却大功率 CO₂ 激光器技术引起了国际上研究者的极大兴趣, 近年来得到了迅速发展。

1990 年 Nowack 等人用射频激励扩散型冷却大功率 CO₂ 激光器技术获得了 500 W 的激光功率输出^[2], 其器件结构电极长度为 420 mm, 放电区横截面尺寸为 70×1.5 mm², 从技术上论证了实现千瓦级扩散型冷却大功率 CO₂ 激光器的可能性。1992 年 Hall 等人在世界上首次报道了射频激励扩散型冷却千瓦输出 CO₂ 激光器^[3], 其电极长度为 770 mm, 放电区横截面尺寸为 95×2 mm², 光学非稳腔输出耦合率为 25%, 激光输出效率为 12%。1993 年 Yeldon 等人^[4]提出了一种新的圆筒状径向多通道扩散型冷却 CO₂ 激光器, 其结构电极长度为 500 mm, 每个通道放电区横截面尺寸为 40×5 mm², 获得了 100 W 的激光功率输出。1993 年 Lapucci 等人^[5]提出了一种三单元无侧壁板条波导 CO₂ 激光器技术, 电极长度为 300 mm, 每个板条波导放电区域横截面为 10×2 mm², 获得 49 W 的激光功率输出。1994 年 Ehrlichmann 等人^[6]提出了一种环形非稳腔结构, 利用同轴放电形成的环形增益与环形非稳腔匹配, 获得 1 kW 的激光功率输出。其结构电极长度为 1150 mm, 放电区等效横截面尺寸为 150×7 mm²。

射频激励扩散型冷却大功率 CO₂ 激光器技术包含了三项技术单元, 即扩散型冷却、大面积均匀放电激励及虚共焦望远镜非稳腔。这三项技术的组合使扩散型冷却紧凑型大功率气体激光器的实现成为可能, 因而大为扩展了大功率 CO₂ 激光器的应用领域。但目前采用的单板条波导结构与光学非稳腔的组合使激光功率的进一步提高并同时保持器件的紧凑型受到限制, 其主要原因为: 1) 射频激励器件的高增益激励频率在 90~150 MHz 左右, 即射频波长为 2~3 m 左右, 而电磁波在平行电极中传播形成驻波电压分布。为获得均匀放电激励, 一般电

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 5 月 13 日; 收到修改稿日期: 1995 年 7 月 16 日

极尺寸在小于 1 m 的范围，同时配合以一定的纵向匹配技术。而为了保证纵向匹配技术的有效实施，大面积放电电极尺寸的横纵比一般远小于 1，如若保持器件长度不变，面增比技术要求增大电极尺寸的横纵比，这样才能进一步提高器件的激光输出功率。大横纵比电极使得电压均分匹配技术的效用大为降低。因而使放电均匀激励性降低，导致激光输出功率的提高受到限制。2) 由于光学望远镜非稳腔的耦合输出率与非稳腔的光束输出口径有直接联系，因而随着电极横纵比的提高，为保证激光输出最佳耦合，非稳腔的光束输出口径也要加大，这样使得输出光束长宽比增大，在实际应用中为光束变换带来了困难。因而为了进一步提高扩散型冷却激光器的输出功率，而同时保持其紧凑型，采用面增比技术是不够的，而应采用体增比技术(Volume Scaling)。

本文采用二个板条波导构成一个 1×2 板条波导非锁相阵器件结构，这种结构与单板条波导器件相比，充分利用了单板条波导器件中上电极与真空腔外壳间的空间，如图 1(a)所示，在这空间中设计另一个接地电极，如图 1(b)所示，使得原器件尺寸保持不变，而同时又增加了器件增益面积，提高了激光器件的输出功率。同时由于这种结构上下电极均为接地电极，射频功率从中间电极输入，在结构上为电极的固定和工艺安装带来的便利。在实验中，采用了二组谐振腔并行输出的技术，这种技术与折叠腔串行输出的技术相比有以下的优点：第一，减小了谐振腔镜片的激光功率密度承受值，有利于减小由于镜片热形变引起的光束质量的降低；第二，由于谐振腔镜片距离波导口较近，减小了波导激光器的耦合损耗，有利于提高激光器的效率。

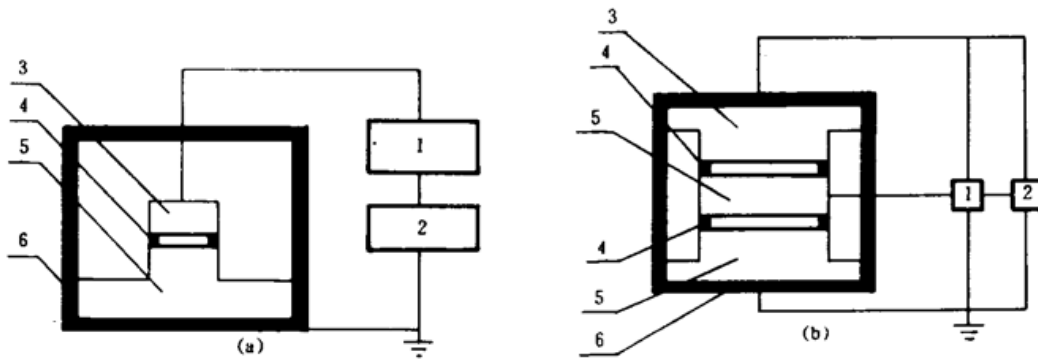


Fig. 1 The cross section of area scaling CO₂ laser (a) and packed 1×2 slab waveguide CO₂ laser (b)

2 实验装置及结果

1×2 板条波导阵列结构如图 2 所示，中间电极为射频源输入电极，两下电极为接地电极，与真空腔外壳紧固，使整个波导结构与外壳形成紧凑的牢靠结构。单元波导放电长度为 500 mm，放电区域横截面宽为 100 mm(增益区长宽比为 5 : 1)。单元波导高为 2 mm。激光腔外壳采用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢焊制成。电极采用 LY12 铝合金制作。在中间电极与两端电极采用水冷。放电气体的冷却靠气体的热扩散将热传给波导壁。利用冷却水将热带走，形成所谓扩散型冷却。整个板条波导阵列电极部分是固定在由三根因瓦合金棒构成的支架上。在支架两端各有两个谐振腔镜片调整架，使得激光谐振腔与板

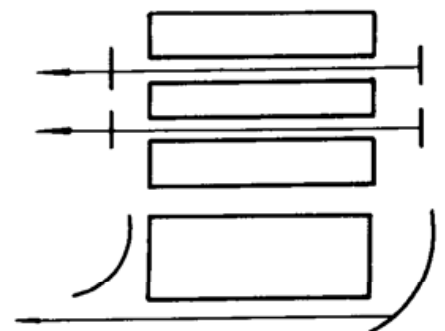


Fig. 2 Unstable resonator of 1×2 slab waveguide laser

条波导阵列电极部分构成一体,可方便地装入和从不锈钢真空腔内取出,便于调节。整个实验装置方块图如图 3 所示。其中射频源为一 10 kW 的调频机,输出频率为 87~107 MHz,输出阻抗为 50 Ω 。激光头与射频源的匹配采用了一个二级 LC 宽带匹配电路来实现。分析发现,射频大面积气体放电中,气体放电的大面积均匀性与电极间电压分布的均匀性并不一致,也就是说,气体放电的大面积均匀性与气体放电产生的等离子体所吸收的射频功率密度分布的均匀性一致,并非与电极间电压的均匀性相一致。因而,在实验中采用了一种新的匹配技术,沿放电电极的纵向在电极间联一组电感值周期性变化的电感来获得大面积放电的均匀性^[7]。整个激光器件的等效电路图如图 4 所示。实验中采用的真空系统是一个自制的机械泵低真空系统(1.33 Pa)。真空腔的密封是利用氟橡胶“O”圈来实现的。

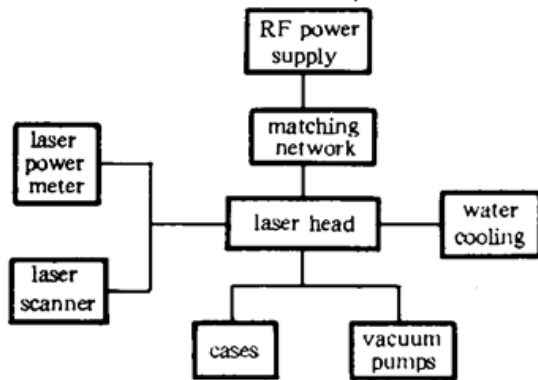


Fig. 3 Schematic diagram of experiment setup

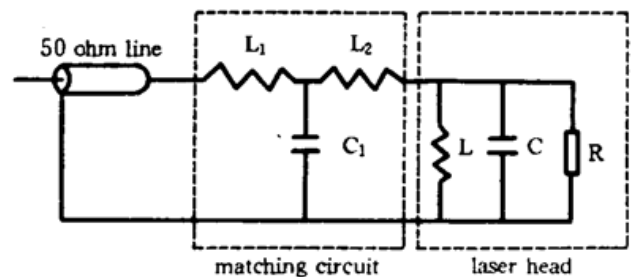


Fig. 4 Sketch of the equivalent circuit of the laser head

实验中,射频电源输出频率为 93.15 MHz。由于采用了适当的内部匹配条件和电路使匹配状态驻波比不小于 1:1.2 (即射频输入的反射功率不大于 2%)。气体工作物质为 CO₂: N₂: He: Xe=1:1:3:0.05 的混合气体。实验中采用的谐振腔为两组虚共焦非稳波导腔,各波导单元的谐振腔分别可调。谐振腔的凸面反射镜曲率半径为 4650 mm,尺寸为 88×20×20 mm³。凹面反射镜曲率半径为 5710 mm,尺寸为 110×20×20 mm³。谐振腔的输出口径为 2×18 mm²,腔长为 530 mm。输出光束为两个单元光束。应用中可利用衍射光学元件转换为圆形光束。输出光束近场分布沿宽波导方向呈现波纹分布,这是由于波导效应的影响。理论上,同相周期性分布的光场在远场分布为一压缩的单峰分布。因而非稳波导腔输出远场为一单峰分布场。通过适当调节单元波导谐振腔,获得了 1020 W 的最高激光功率输出,射频输入功率为 9000 W,混合气体气压为 1×10⁴ Pa,射频反射功率为 200 W,射频输入功率与激光输出功率的关系曲线如图 5 所示。

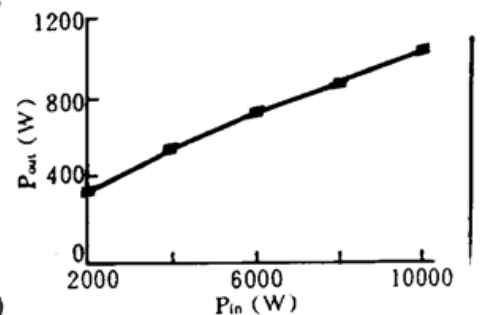


Fig. 5 Laser output power against RF input power

结论 提出了一种层迭式板条波导阵 CO₂ 激光器结构,这种器件结构与单板条波气体激光器结构相比,提高了器件的增益面积,因而提高了器件的激光输出功率,同时又保持了与同量级激光功率输出单板条波导器件相同的尺寸,为实现千瓦级扩散型冷却紧凑型 CO₂ 激光器的实现奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] D. R. Hall, H. J. Baker, Area scaling boot CO₂ laser performance. *Laser Focus World*, 1989, 25(10): 77~80
- [2] R. Nowack, H. Opower, U. Schaefer et al., Th. Hall, High power CO₂ waveguide laser of the 1 kW category.

Proc. SPIE, 1990, 1276 : 18~28

- [3] A. D. Collèy, H. J. Baker, D. R. Hall, Planar waveguide 1kW CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, 61(2) : 136~138
- [4] E. F. Yelden, H. J. J. Seguin, C. E. Capjack *et al.*, Phase-locking phenomena in a radial multislotted CO₂ laser array. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1993, 10(8) : 1475~1482
- [5] A. Lapucci, G. Cangioli, Phase-locked operation of a compact three-slab-sections radiofrequency discharge CO₂ laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1993, QE-29(12) : 2962~2971
- [6] D. Ehrlichmann, U. Habich, H. D. Plum *et al.*, Annular resonators for diffusion cooled CO₂-lasers. CLEO'94 Amsterdam, Netherlands, August, 1994 : 400~401
- [7] J. G. Xin, Analysis of discharge uniformity in RF-excited gas lasers, ICOEL'95, Hangzhou, China, October, 1995

RF Excited Diffusively Cooled Packed Slab Waveguide Kilowatt CO₂ Laser

Xin Jianguo Fang Gaozhan Peng Xieyun Wang Peng
Wei Guanghui Zhang Jingwu

(*Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081*)

(Received 13 May 1995; revised 16 July 1995)

Abstract A new type of packed slab waveguide CO₂ laser is demonstrated, with which over 1 kilowatt power output is obtained from an only 500 mm electrode length device. This technique is possible to obtain multikilowatts power output compact CO₂ lasers.

Key words RF excited, packed, slab waveguide, CO₂ laser.