

输出千瓦级基模 CO₂ 激光的七折光学谐振腔*

周风晴 陈清明 李晓平 卢 宏 冯功和

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

提要 报道了一种成功地在横向磁场约束的直流辉光放电激励横向流动 CO₂ 激光器上输出千瓦级基模光束的七折腔的结构、参数及实验结果, 并对其进行了讨论。

关键词 光学谐振腔, CO₂ 激光, 基模

1 引 言

高功率 CO₂ 激光器在工业中的应用十分广泛, 因此人们对它进行了大量深入的研究。目前高功率 CO₂ 激光器按其气体流动划分主要有两种类型, 即横向流动型和快速轴向流动型。横流激光器的优点是制造和运行成本低、输出功率大、技术相对简单, 缺点是光束质量稍差; 快轴流激光器的优点是光束质量好, 但制造和运行成本较高、技术比较复杂。CO₂ 激光在工业中的应用主要是切割和焊接, 均要求好的光束质量, 最好是 TEM₀₀ 横模的激光束。轴快流激光器能获得好的光束质量是因为其放电对于光束的径向对称性和较长的光学谐振腔。一般横流激光器不具备这些条件。但只要获得一个合适的大体积的均匀辉光放电就可以利用多折腔技术来达到一定的光腔长度。为了获得大体积均匀辉光放电, 我们根据固体物理中磁控管放电的原理^[1]和 Macken 放电^[2]的思想提出并研究了磁约束放电的技术。磁约束放电技术就是在二极直流放电的阴极区加上与电场正交或基本正交的磁场对放电过程中由阴极产生的电子进行约束的气体放电技术。研究表明, 磁约束放电具有高的电离度, 可获得大体积、高功率的均匀自持稳定放电, 磁场能改变电子的能量分布从而提高某些气体激光的效率^[3,4]。

2 激光器和光腔的结构

激光器主体结构如图 1 所示, 它由放电室、谐振腔、热交换器、充排气系统与风机及电源组成。它是在原有的普通直流放电激励 2 kW 横流多模 CO₂ 激光器的基础上改装而成, 其关键部件——放电室则是依据约束放电激励的思想重新设计的。主体结构的总体积约 2 m³, 有效气体容积约 1 m³。其工作气压为 10 kPa (CO₂:N₂:He=1:8:20), 放电喉道处的气体流速为 30~40 m/s, 通过两套水冷热交换装置后工作气体温度可以冷却至 20℃。

图 2 给出了基于约束放电的思想而设计的放电室的结构示意图。放电室由安装了电磁铁

* 国家自然科学基金资助项目。

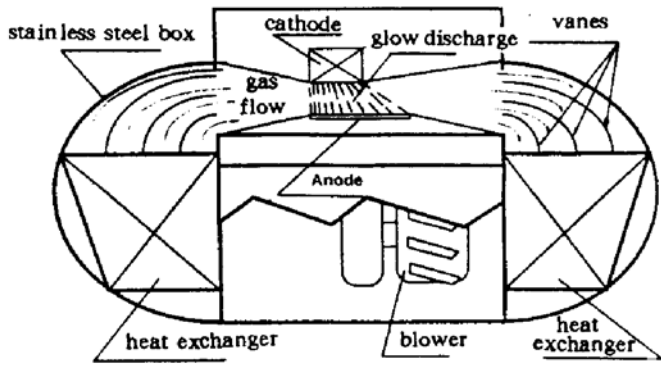


Fig. 1 Schematic structure of the magnetically confined glow discharge excited CO₂ laser

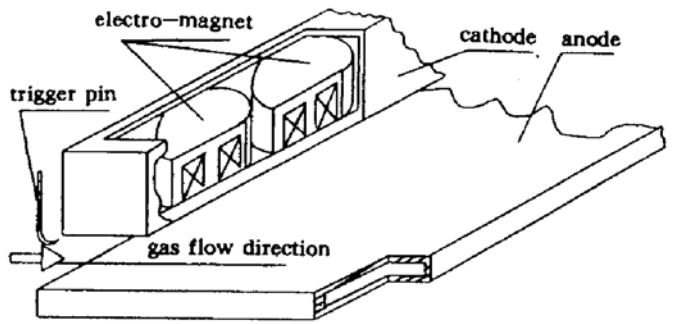


Fig. 2 Schematic diagram of the electrodes of the magnetically confined glow discharge excited CO₂ laser

的阴极组件、放电极、触发针和其它绝缘材料组成。阴极由五个相同件组成，每个内部安装五个具有磁心的圆柱形电磁铁，在阴极表面的横向磁场强度约为 0.25 T，为了帮助起辉，在上游安装了 10 根触发针，放电形成的辉光放电正柱区的体积为 1000 mm×100 mm×25 mm。

基于上述放电激活区的特殊形式(具有一个扁平的均匀增益区)，我们专门设计了一个七折的光学谐振腔系统。图 3 是其结构示意图。两个全反射平面镜之间的距离为 1430 mm，在全反射平面镜和窗口之前都有光阑，光阑的通孔为 22 mm，平面平行窗口为砷化镓或硒化锌，透过率为 70%，三块全反射镜都是单晶硅基底，在其上真空蒸镀四层介质膜增强反射的银反射涂层，其反射率大于 99.5%。因为光阑与全反射平面镜之间有一定的距离，为了防止光腔失调时激光束烧坏放电室的部件及造成放电起弧和抑制高阶横模的振荡，全反射平面镜上只有三个分立的圆形反射区，每个反射区的直径为 25 mm。光腔尾镜的曲率半径为 50 m。支撑谐振腔的光桥位于激光器的壳体内部真空室里，整个光桥和全部反射镜都是直接水冷的，保证了光腔的稳定性。上述七折腔在光学上可以等效为一个如图 4 所示的平凹腔^[5]，激光束的束腰位于输出窗口处，基模与一阶模的束腰直径分别为 16.4 mm 和 28.4 mm。因此激光一阶模的存在将比较困难，至于其他高阶的模式，因为其孔径更大，在这里产生振荡的可能性就十分小。

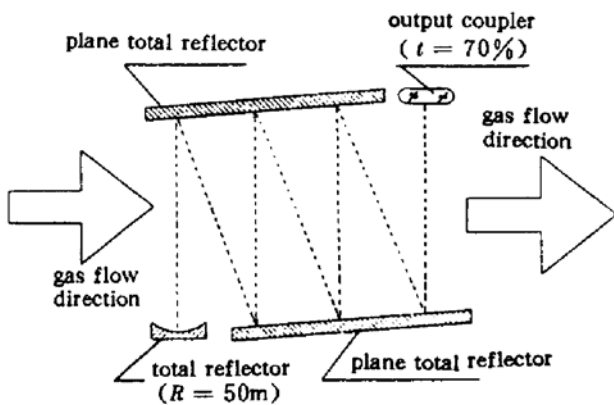


Fig. 3 The schematic structure of the seven-fold optical resonator

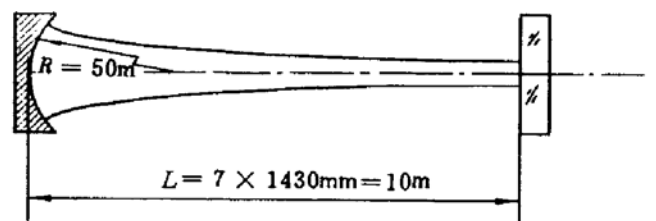


Fig. 4 The equivalence of the seven-fold optical resonator

3 实验结果

对横向磁场约束放电激励 CO₂ 激光器的输出特性进行了测量。所测特性包括功率、电光转换效率、激光束的横向模式和发散角。横向模式的测量采用英国爱丁堡仪器公司的 LBA 3/

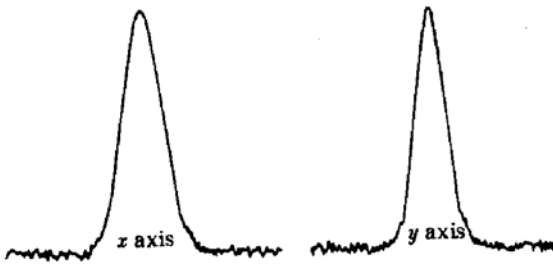


Fig. 5 Laser power intensity distribution along X and Y direction

A 型激光模式仪,用二踪示波器观察 X,Y 两个轴的激光功率密度分布,并用数字存储示波器存储后输出。光束发散角的测量采用焦斑法,即通过在同一激光束下测量近场、远点两处烧斑本征对应光束直径计算而得。结果如下:平均激光输出功率为 1019 W,激光功率不稳定度 = $\pm (W_{\max} - W_{\min}) / (W_{\max} + W_{\min}) = \pm 3.3\%$,平均电光转换效率为 13.4%,横向模式以 TEM_{00} 模为主(近正态高斯分布),如图 5 所示。激光束远场发散全角为 0.5 mrad(理论值为 0.41 mrad)。上述结果说明这种谐振腔具有很好的性能和实用价值。

参 考 文 献

- 1 R. K. Waits. Planar magnetron sputtering. in J. L. Vossen, W. Kern, Eds., *Thin Film Processes*, Academic, New York, 1978. 131
- 2 John Macken, Harry Wrench, Mike Samis. Compact diffusion-cooled CO_2 laser. *Conf. on Lasers Electr-Opt (CLEO)*, Anaheim, CA, 1988, FD-3
- 3 Jun Li, Qing-Ming Chen. Electron energy distribution and transport coefficients in magnetically confined CO_2 lasers. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1993, **26**:1541~1544
- 4 Qiang-Hua Xu, Qing-Ming Chen, Jun Li. Monte Carlo simulation of electron transport coefficients in magnetically confined CO_2 gas laser discharges. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1994, **27**:795~800
- 5 周炳琨,高以智,陈家骅等. 激光原理. 北京:国防工业出版社,1984. 113

A Kilowatt Output TEM_{00} Mode CO_2 Laser with a Seven-fold Optical Resonator Design

Zhou Fengqing Chen Qingming Li Xiaoping Lu Hong Feng Gonghe

(National Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract In a magnetically confined DC glow discharge excited transverse flow high power CO_2 laser, a seven-fold resonator operated successfully and provided a 1 kW TEM_{00} mode laser output. In this paper, the structure and characteristic parameters of this resonator are presented and discussed along with the experimental results.

Key words optical resonator, CO_2 laser, TEM_{00} mode