

1500 W 高频激励 CO₂ 激光器的研究

丘军林 陈培锋 陈涛 龚志伟

(华中理工大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

提要 讨论了高频放电激励 CO₂ 激光器的基本机理,报道了最新研制成功的高频激励横流 CO₂ 激光器的基本结构、技术特点和实验结果,该激光器低阶模输出为 1.5 kW,光束发散角小于 2 mrad。

关键词 高频激励,横流 CO₂ 激光器,高频放电

1 引言

直流(DC)激励 CO₂ 激光器存在下面几个问题:(1) 由于放电的不稳定性,限制了注入功率密度的提高,一般为 12 W/cm³;(2) 很难实现连续-脉冲运行的转换,无法满足高性能激光加工的要求;(3) 镇流电阻要消耗占总能量 1/3~ 1/4 的能量。因此,第一代工业用直流激励 CO₂ 激光器一般体积庞大,可靠性较差,效率较低。

高频放电激励横流 CO₂ 激光器是八十年代中期出现的新一代工业用高功率 CO₂ 激光器。它克服了第一代直流电激励激光器的缺点,具有放电均匀稳定、光束质量好、可调制等优点而受到普遍重视^[1-3]。

采用高频放电激励,由于电极极性不断改变,电子、离子无法进入电极,因此在电极附近不会形成明显的阴极位降区。在放电时可以在电极附近看见两条宽线(负辉光放电),也证实了这一点。极性的快速改变,使电子碰撞气体分子的几率有所增加,有利于提高激光输出,缩小器件体积。

采用高频放电可以采用介质电极,从而形成大体积均匀放电,这有利于提高激光输出的光束质量。采用高频放电的另一个特点是可以进行脉冲调制,可以使激光器在连续、间断、脉冲三种方式下运行,从而增强了其加工选择性。

2 激光器总体结构

激光器总体结构如图 1 所示,由高频电源、具有介

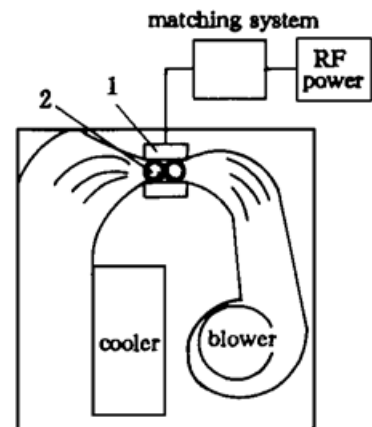


图 1 高频激励横流 CO₂ 激光器总体结构

1: 电极系统; 2: 谐振腔系统

Fig. 1 Structural drawing of the HF-excited TF-CO₂ laser

1: electrode; 2: resonator

质的电极、匹配阻抗、激光谐振腔、气体循环冷却系统、充排气系统及控制台等组成。从整体结构看,是典型的横向快速流动型激光器。

3 技术特点

3.1 高频电源

电源频率的选择是根据覆盖介质(Al_2O_3)的介电常数($\epsilon = 10$),并考虑到在介质上的电场强度 E_ϵ 近似等于放电间隙的电场强度 E_0 来进行的。因为 $E_\epsilon \propto 1/\epsilon f^{1/4}$, 因此如果要降低 E_ϵ 使其接近 E_0 , 只能增加振荡频率 f 。所以最后我们选择了电源频率为 1~ 2 MHz 可调。实验结果表明,最佳的频率为 1.6 MHz。

同时,我们选择的频率考虑到对环境的影响,首先避开了无线电通信频率,同时采用良好的屏蔽和滤波,因此不会造成任何影响,也是安全可靠的。

然而,从市场上购买的高频感应加热电源不具有脉冲调制的功能,必须对此加以改造。我们采用通过控制振荡电子管的栅极直流负偏压的方法,让电子管按要求的脉冲频率起振和停振,达到脉冲调制输出的目的^[5]。通过改造,获得了 1 Hz~ 2.5 kHz 的脉冲调制功能。

3.2 电极结构

高频放电电极采用介质覆盖,可以避免电子和离子直接轰击电极,从而降低了起弧几率,

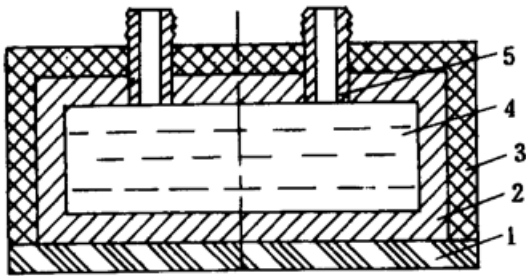


图 2 电极结构原理图

1: 陶瓷介质; 2: 铜电极; 3: 绝缘材料; 4: 冷却水; 5: 水嘴

Fig. 2 Structure of electrode

1: ceramic medium; 2: copper electrode;

3: insulating material; 4: cooling water; 5: faucet

提高了放电的稳定性和激光输出的可靠性。为了提高放电的均匀性,我们还采用分段式电极结构,这有利于制造和冷却。上电极分成 10 段,下电极则分成 3 段,采用非对称结构。放电电极长度为 1.05 m,极间距为 26 mm,在铜电极表面覆盖陶瓷介质,其余部分则用绝缘材料被覆,电极中间通以冷却水,陶瓷介质厚度为 0.2 cm。其结构如图 2 所示。

3.3 阻抗匹配

由于气体流场的不均匀性,极间距离的不均匀性(制造原因),从而造成放电通道的电场强度分布也是不均匀的。如果将高频电源直接

接入电极,就必然会造成电场强度高的地方先放电,而电极其余部分则无法放电,那么器件也无法工作。因此我们将上电极分为 10 段,将集中参数变为分布参数,然后每段电极上串联一个电容(20~ 50 pF),从而达到调节放电间隙的电场强度,形成均匀稳定的放电,最大注入功率密度为 15 W/cm³。有关的理论分析和实验研究在[4]中已有详细报道。

3.4 激光谐振腔

为了获得低阶模,我们采用三折腔加阑孔的方法,如图 3 所示。 M_3 为凹面全反镜(曲率半径 $r = 20$ m), M_1, M_2 为平面全反镜, M_4 为平面输出镜(经过实验,最佳透射率 $T_{max} = 50%$),在每一个镜子的前面都安装有 $\phi 22$ mm 的阑孔,光腔总长度为 5 m。反射镜和转折镜皆采用硅基底增强介质膜全反镜,具有热变形小、反射率高的特点。输出镜采用砷化镓材料。所有镜皆通水冷却。光腔系统的稳定性必须极认真地加以考虑,以保障稳定输出^[7]。

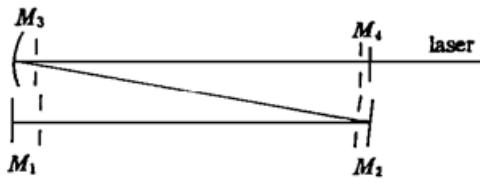


图 3 激光谐振腔原理图

Fig. 3 Folded resonator

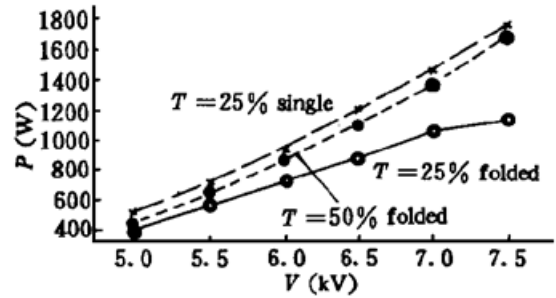


图 4 不同谐振腔形条件下的输出功率

Fig. 4 The output power for different resonator transmissions

4 高频 CO₂ 激光器的运行特性

通过大量的试验研究, 获得了激光器的最佳运行参数, 结果示于图 4。采用由曲率半径为 10 m 的全反镜和平面输出镜组成的单程腔时, 激光器获得多模输出, 最大输出功率为 2500 W, 稳定输出为 2000 W。在多折腔(加阑孔)获得低阶模输出(TEM₀₀+TEM₀₁), 稳定输出功率为 1500 W, 最大输出功率为 1800 W, 发散角为 1.6 mrad, $M^2 \approx 1.8$ 。激光器进行了长时间稳定运行试验, 连续工作 8 h, 功率输出不稳定性 < ±3%。

除此之外, 还进行了最佳气体比例的试验, 最佳气体比例为 CO₂·N₂·He=1·7·35。同时还进行了脉冲调制试验, 调制频率为 1~1000 Hz, 这样, 激光器可以连续运行, 也可脉冲或间断运行。

参 考 文 献

- 1 H. Huegel. CO₂-hochleistungslaser. *Laser und Optoelektronik*, 1988, (2): 68
- 2 K. Yasui, M. Kuzumoto, S. Ogawa et al.. Silent-discharge excited TEM₀₀ 2.5 kW CO₂ laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1989, QE-25(4): 836~839
- 3 丘军林. 新一代工业用高功率 CO₂ 激光器. *中国激光*, 1994, 21(5): 377
- 4 丘军林. 具有介质电极的高频放电. *激光技术*, 1995, 19(5): 274
- 5 邓抄军, 陈涛, 丘军林. 高频感应加热电源装置的改装. *工业加热*, 1993, (6): 47
- 6 王贤俊, 陈涛, 丘军林. 高频激励横流 CO₂ 激光器的实验研究. *激光技术*, 1993, 17(5): 276
- 7 陈培锋, 丘军林, 龚志伟等. CO₂ 激光器输出窗口的不对称热畸变. *激光杂志*, 1994, 15(3): 114

1500 W HF-excited TF-CO₂ Laser

Qiu Junlin Chen Peifeng Chen Tao Gong Zhiwei

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

Abstract The basic mechanism of the HF-excitation of a CO₂ laser is discussed. The structure, technical features and experimental results of the new HF-excited TF-CO₂ laser are reported. The output of the laser is 1.5 kW, and the output beam divergence is smaller than 2 mrad.

Key words HF-excitation, TF-CO₂ laser, HF-discharge