

文章编号: 0258-7025(2001)10-0890-03

小功率封离型全金属 RF 激励 CO₂ 激光器的实验研究

吴恒莱 王又良 萧明强 崔 瑛

(上海市激光技术研究所 上海 200233)

提要 研制了一种小功率封离型全金属结构射频(RF)CO₂激光器。在 750 mm 放电长度上获得了大于 30 W 的稳定性优于 ±5% 的 TEM₀₀ 模激光输出,光束的远场发散角小于 3.5 mrad。电光转换效率优于 12.5%。

关键词 射频激励, CO₂ 激光器, 全金属结构, 封离型

中图分类号 TN 248.2+2 **文献标识码** A

Experimental Investigations of Low Power Sealed-off All-metal RF-excited CO₂ Lasers

WU Heng-lai WANG You-liang XIAO Ming-qiang CUI Ying

(Shanghai Institute of Laser Technology, Shanghai 200233)

Abstract This paper presents a low power sealed-off RF-excited all-metal CO₂ laser. A 30 W TEM₀₀ mode output laser with power stability being better than ±5% from 750 mm discharge length was obtained. Far field divergence angle is smaller than 3.5 mrad and electro-optic conversion efficiency is larger than 12.5%.

Key words RF-excited, CO₂ laser, all-metal, sealed-off

1 引言

扩散冷却封离型全金属 RF 激励 CO₂ 激光器,具有装置紧凑、封离运转、免维护和低成本等特性,其调制特性、光束质量、功率稳定性、可靠性和使用寿命等性能比较优秀,其中小功率级的 CO₂ 激光器尤为出色。在各类商用激光器中,CO₂ 激光器的每瓦输出成本始终最低,插头效率较高,在 10% ~ 12% 之间;多数材料对 10.6 μm 左右的激光辐射吸收强烈,激光器运转模式可在连续和脉冲之间进行随意的选择或切换,这给激光器的应用带来了诸多灵活性,从而博得了材料加工、外科医疗和激光雷达等业界人士的青睐。

目前,商用成品激光器功率已达 600 W,技术已经突破 1000 W^[1,2]。国内在这方面的研究已有报道,但至今还未见商用激光器问世。华中科技大学的 S. Messaoud 等^[3]对 375 mm 放电长度的全金属结构射频

激励 CO₂ 激光器作了比较详细的报道,中国科学院上海光机所的王润文等对板条结构的该类激光器进行了开发^[4]。本文参照文献[5~8]对 750 mm 放电长度的全金属结构射频激励 CO₂ 激光器进行了技术研究,测试了与应用相关的激光输出特性。

2 实验装置

激光器由射频电源和激光头组成。管壳 1 是激光头结构的主体,兼作工作气体的储气室和射频的屏蔽室,见图 1。它由边长为 50 mm 的正方形金属管构成。管壳内对称装有四个射频放电的电极 2,3,4,5,电极的截面如图 1 所示,长度为 750 mm。电极在管壳中心围成边长为 4.8 mm 方孔的激光等离子体放电腔。电极 2 和 3 接地,与管壳间留有约 0.3 mm 的缝隙。电极 4 通过电感线圈 *L* 与电极 5 连接,电极 5 又与射频能量的馈入端子 6 连接。端子 6 接阻抗匹配网络 *M*,见图 2。端子 6 兼作工作气体的充气口。为解决材料热膨胀系数的匹配问题,激光头的整体结构材料均采用同种金

属铝制成, 并采用阳极氧化工艺, 在电极表面生成一层氧化膜, 以改善射频放电的均匀性。管内电极之间的绝缘通过激光气体自身实现, 它们之间位置的固定采用真空陶瓷垫块。管体的两端分别用安装有全反射镜和输出耦合镜的金属端盖干式焊接封离, 以避免水洗对管壳内部造成的污染。端盖与腔镜之间的密封采用经典的橡胶圈密封。全反射镜的曲率半径为 3 m, 输出耦合镜为反射率达 96% 的 ZnSe 平面镜, 它们构成腔长为 800 mm 的稳定谐振腔。管内充有总气压为 7980 Pa 的混合气体, 气体成分的压强比为 $P(\text{CO}_2) : P(\text{N}_2) : P(\text{He}) + 5\% \text{Xe} = 1 : 1 : 3 + 5\% \text{Xe}$ 。激光器由 30DCV 电源向图 2 中的射频功率源 R 供电, 供电电流约为 8 A。射频源通过阻抗匹配网络 M 向激光头馈入射频能量。在适当频率的射频电压激励下, 可使激光头进入谐振状态。此时, 在放电电极之间获得激发激光气体所需的放电电压和电流, 电极 4 和 5 对地具有反相位, 即进入了所谓的双相激励状态^[5]。实验中, 谐振状态的获得可通过调整射频的频率或匹配网络参数或激光头的参数来实现。本实验中所采用的射频频率设计为 50 MHz。激光器输出的能量可通过图 2 中的功率控制单元 C 实现^[6]。本实验采用了向激光头输入固定的射频功率方式。

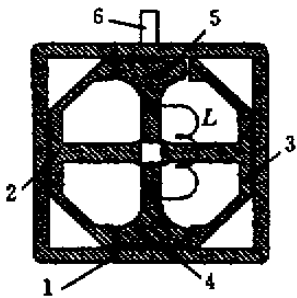


图 1 激光头结构

Fig.1 Configuration of laser head

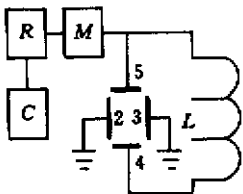


图 2 激光器工作原理

Fig.2 Operating principle of the laser

3 测试结果

本实验对激光器输出光束的远场发散角、输出模式和光功率的稳定性做了测量: 1) 输出功率: 直流输入功率 240 W (30 V, 8 A) 时, 激光输出 30 W, 功率稳定性优于 $\pm 3\%$; 测量用 SJG-100 型功率计。2) 远场发散角: 测量装置见图 3。透镜 L 的焦距为 1 m; T 为上海市激光技术研究所制造的“CO₂ 激光参量测试仪”, 测试仪的针孔光阑 A 紧靠探测器放置, 测试仪的输出接函数记录仪 R (LM15-251 型)。测试仪针孔的扫速 (SSP) 为 48 mm/min; 记录仪的走纸速度 (WSP) 为 400 mm/min, 记录结果见图 4。取 1/10 峰值高度处的宽度 23 mm 来计算发散角, 结果为 3.3 mrad。3) 模式测量: 模式的测量主要是确定激光能量的横向分布。图 4 是针孔扫描得到的输出激光束的横向光强分布。可以看出, 输出的主要是 TEM₀₀ 模。

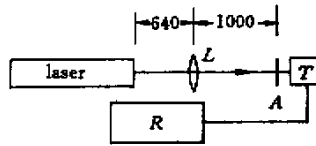


图 3 发散角测量装置

Fig.3 Experimental arrangement of testing divergence angle

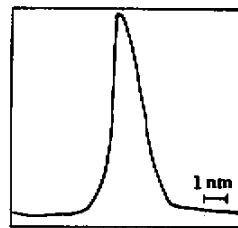


图 4 远场发散角测量记录曲线

Fig.4 Recording graph of testing of far-field divergence angle

4 讨论

全金属结构的引入赋予射频激励 CO₂ 激光器许多优异特性。

1) 在这种激光器中, 激光气体介质除了自身的激光功能外, 还起到了另外两种功能作用, 即绝缘作用和传热作用。电极与电极之间的小间隙的绝缘及电极与管壁之间小间隙的绝缘巧妙利用了气体放电规律所支配的气体绝缘性。放电等离子体所产生的余热, 一是先传给放电电极, 再经过电极和管内壁间的激光气体传导给管壁, 二是通过电极之间的细缝与激光腔外围

的激光气体进行对流交换后传给管壁后排除体外。这对构成紧凑的封离型结构是很关键的。

2) 组成放电等离子体区的四个电极放电表面相互之间有一个气体缝隙,这与方孔波导不同,横向尺寸 4.8 mm 也不符波导的要求。这种同时兼有波导腔和自由腔特点的谐振腔对光束的特有作用,在增大了放电体积的同时,又保证了光束的 TEM₀₀ 模输出。

3) 射频这种高频的交流放电在电极表面形成电子密度较低的壳层,从而减少了带电粒子轰击电极表面的机会,加之横向激励的电压属于低压放电,使电极溅射对谐振腔片造成的污染问题降至最低。这是 DC 放电激励 CO₂ 激光器不可与之相比的。为实现激光器长寿命运转提供了客观保证。

4) 激光头的整体结构采用了同种导热性能好的铝金属材料,不仅有利于扩散冷却,更重要的是解决了常规激光器结构所存在的结构材料热膨胀系数的失配问题,扩大了激光器正常工作的温度范围。

5) 全金属结构激光器具有良好的导热机制。该种结构不仅改善了机械强度,更重要的是打破了对流冷却依赖笨重的风机和换热器的框框。为实现激光器无机械运动部件运转提供了必要的前提。

6) 选择铝型材作激光器的结构材料,这对降低成本和制作难度的意义是显而易见的。

7) 提高射频源的工作电压可以提高电能的利用率。功率一定,电压提高了,工作电流就降低了,焦耳损耗也就减小了。这样一来,消耗在射频功率管和回路的焦耳热损耗就显著地降低了。随着高工作电压的射频功率器件技术的发展,该种激光器优异的性能/价格比的潜力会继续得以提高。

8) 寿命应该是考核商品器件的一个重要指标。国外该种器件的寿命已经达到 35000 h 以上。寿命问

题的解决应主要从电子元器件、光学器件和电真空器件三个方面入手。对 35000 h 的寿命,满足前两个方面要求的高质量的商品很易购到,不成问题。后一方面的问题是,要侧重解决放气、漏气、CO₂ 解离及解离产物的消耗。核心问题是水对激光气体的毒害。这已有成熟的技术和工艺。

5 结 论

我们自行研制了封离型全金属结构射频激励 CO₂ 激光器,通过技术参数的测试,在功率和功率的稳定性、激光模式、光束的远场发散角和电光转换效率方面的技术指标均达到了实用的要求。最大输出功率 30 W,稳定性优于 ±5%;输出模式 TEM₀₀;远场发散角 3.3 mrad;直流电功率转换为激光输出功率的效率优于 12.5%。

参 考 文 献

- 1 Greg Dunham. Sealed carbon dioxide lasers enter the high-power arena. *Laser Focus World*, 1999, (3):105 ~ 110
- 2 Coherent Laser Group. 15 new diamond CO₂ lasers. *Industrial Laser Solutions for Manufacturing*, 1999, 3:11 ~ 12
- 3 S. Messaoud, Guo Zhenhua. RF-excited all-metal CO₂ laser. *Photoelectron and lasers* (光电子·激光), 1999, 10(2):125 ~ 128
- 4 Wang Runwen, Wang Fudun, Lin Yingyi et al.. 100 W slab diffusion cooling CO₂ laser has been setup. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, 19(2):288 ~ (in Chinese)
- 5 Laakmann. Electrically Self-oscillating. U. S. Pat., No.4837772
- 6 S. Messaoud, Guo Zhenhua, Xu Desheng. Power unit controller for RF excited CO₂ laser. *Laser Technology* (激光技术), 1999, 23(3):156 ~ 158 (in Chinese)
- 7 Laakmann. RF-excited, All-metal Gas Laser. U. S. Pat., No. 4805128
- 8 Laakmann. Drive System for RF-excited Gas Lasers. U. S. Pat., No. 5008894