

2.5kW横流CO₂ (无氦) 激光器研究

孙军强 陈义红 龚志伟

唐宗化 赵得宝 丘军林

(华中理工大学激光研究所, 武汉)

摘要: 在高功率横流CO₂ (无氦) 激光器中, 本文就镇流电阻对激光器输出特性的影响作了实验研究, 并获得了镇流电阻的最佳数值。当总压力为60Torr, CO₂:Ar:N₂=1.5:10:10时, 激光器的输出功率为2.5kW, 光电转换效率为16.9%。在12h的运行中, 输出功率漂移仅为±3%。

Investigation of the 2.5kW transverse flow CO₂ (helium-free) laser

Sun Junqiang, Chen Yihong, Gong Zhiwei

Tang Zonghua, Zhao Debao, Qiu Junlin

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: The output characteristics of the high output power transverse flow CO₂ (helium-free) laser influenced by the steady resistances are studied experimentally and the optimum parameters of steady resistances are determined. When the total pressure is 60 Torr with the gas mixture of CO₂:Ar:N₂=1.5:10:10, the output power reaches 2.5kW, with an efficiency of 16.9%. The output power fluctuations are ±3% during twelve hours' operation.

一、引 言

普遍的CO₂激光器的工作气体常常是由CO₂、N₂、He等组成^[1,2], 由于He的存在, 使激光器的使用费用较贵, 限制了CO₂激光器应用的广泛性。我们所研制的这台CO₂激光器以Ar替代He, 同样使激光器的运行获得了成功。在激光器的输出功率为2.5kW时, 实现了连续12h的运行, 相应的光电转换效率为16.9%, 功率的漂移范围为±3%。

二、理 论

在CO₂激光器中, He的作用是冷却, 帮助充当“瓶颈”作用的CO₂低振动能级减少粒子数, 让分子有效地转移至基态, 而不妨碍激光上能级的粒子数分布; 放电时, He能使电子能量维持在适当的范围, 以便更有效地激励CO₂分子。He良好的热传导性, 有助于传递放电区的剩余热量。

根据热力学原理, 激光器在运行时, 其温升的表达式为^[3]:

$$\Delta T = 182.4 P_E (1 - \eta) / C_{P_n} \rho_{0_n} f u_n P_n \quad (1)$$

式中, P_E 为放电区的注入功率; η 为激光器的光电转换效率; C_{P_n} 为混合气体的比热; ρ_{0_n} 为标准状况下气体密度; f 为放电区喉道的截面积; u_n 为气体的流速; P_n 为混合气体的压力。

有关的文献表明^[3]: $C_{P_{He}} \rho_{0_{He}} \approx C_{P_{Ar}} \rho_{0_{Ar}}$, 若能做到 $(u_n P_n)_{Ar} \geq (u_n P_n)_{He}$, 温升比掺He时要小, 相应的掺Ar的光电转换效率比掺He时要高。这表明, 用Ar代替He是可行的。

稳定放电时, 掺Ar时的电子能量为2.3eV, 而掺He时的电子能量为1.5~2.0eV, 在2.3eV的能量下, N₂的1~8振动能级具有很大的激发截面, 从而间接地对CO₂的激光上能级作用。这样, 使得掺Ar时的效率比掺He时的效率大些。

三、实验研究

我们实验用的CO₂激光器如图1所示, 电极的阴极是四排针, 阳极是铜的平板, 是一种典型的针-板结构。阴极的接线端及支撑板的外表面直接暴露在大气中, 阳极是用水来冷却的。制冷系统是用氟里昂作为制冷剂, 经过热交换器来对工作气体进行冷却。激光器的电源用可控硅来进行调压, 改善了电源庞大的缺点。

采用多排针并联放电, 前排针参与主放电外, 还对后排针的放电起预电离的作用。合理地选择各排针的注入功率密度, 调节放电参数 E/N 值, 可显著地提高激光器的转换效率及放电稳定性。在四排针的激光器中, 二、三排针的放电是主放电, 它的注入功率较高为宜; 第一排针除主放电以外, 还起电离的作用, 对它的注入功率显得尤为重要。第四排针的注入功率与风机的风速紧密相关, 若它的注入功率不能很好地利用, 相反会加快气体的温升, 从而使激光器的光电转换效率下跌。

根据低气压气体辉光放电的特性, 阴、阳极间的电压是随着通过电极上电流的增加而递减的, 呈现负电阻效应, 要维持激光器稳定放电, 电极的镇流电阻须超出辉光放电的负电阻, 提供一定的正电阻效应。当放电电流太小时, 激光等离子体的负电阻值将增加, 它的电阻值会上升到跟外加的镇流电阻相等, 所以, 激光器要在很低的电流下工作是不可能的。

图2示出不同的放电条件下的激光器输出功率跟放电总电流的关系。当各排的镇流电阻较低时, 达到额定功率时, 总电流太大。随着各排电阻的增加, 上升的速度加快。在第四排针参与放电的情况下, 注入到第四排针的功率可能因为风速过高而漂出腔外, 注入功率却转化为气体的热能, 而使光电转换效率下跌。由数值比较, 选用311Ω, 422Ω, 614Ω作为一、二、三排针镇流电阻的最佳数值。在我们所用的激光器中, 认为采用三排针放电最合适。

图3所示为在不同放电条件下效率跟总电流的关系。当选择最佳镇流电阻时, 效率上升最

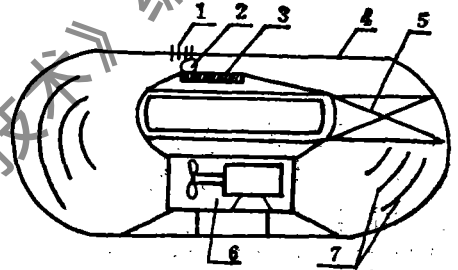


图1 激光器主体结构

- 1—阴极 2—光腔 3—阳极 4—壳体
5—热交换器 6—风机 7—导流片

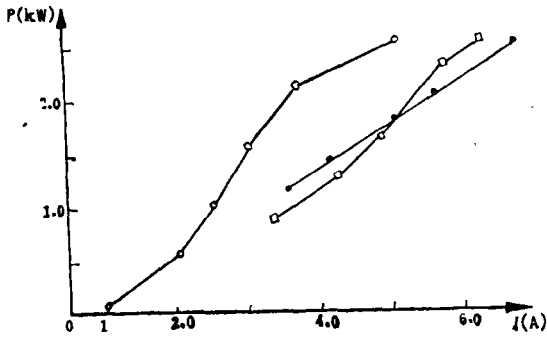


图2 激光器的输出功率与放电总电流的关系
 实验条件: $P_{总} = 60 \text{ Torr}$, $\text{CO}_2 : \text{Ar} : \text{N}_2 = 10 : 1.5 : 1.5$; 第一、二、三、四排针的镇流电阻对应为: $\circ - 311\Omega, 422\Omega, 614\Omega, \infty$ $\square - 299\Omega, 381\Omega, 581\Omega, 2426\Omega$ $\bullet - 300\Omega, 401\Omega, 564\Omega, 830\Omega$

下降。此时,激光器的效率将逐渐下跌。激光的效率能稳定至何时,制冷系统的制冷能力是一个很重要的因素。长期运行在较高功率的情况下,光斑中的光强分布的不均匀性,且不能覆盖整个镜片,引起镜片的受热不均匀性而导致谐振腔的失谐。光桥材料的形变,引起谐振腔整体偏离增益区。这些,都会引起激光功率的波动。

我们实验还发现当气体的总压力偏低时,容易引起弧光放电而损坏其稳定性。放电稳定性还与工作气体组成比例有着密切的关系,计算 E/N 的数值表明, E/N 数值的变化量在提供电离与吸附相平衡的温度时,气体放电才能达到稳定。

快。为了有利于放电稳定性,在额定功率的条件下,由小电流来选择镇流电阻更合适。图4所示是反映激光器运行稳定性的效率与时间的关系。开始时, CO_2 分子在放电中要离解成 CO 和 O_2 分子,随着 CO_2 分解的加剧, CO 成为使 O^- 分离成 O_2 及电子非常有效的气体,使电子温度上升,因此,激光器的工作效率增加。当 CO 分子浓度达到某一数值时,使各种反应到达动态平衡,且负离子的产生不再成为电子损耗的过程,激光器的效率趋于稳定。工作气体的温度随着时间的增长而逐渐地上升。气体的温度上升时, CO_2 的激光上能级的粒子几乎没有改变,而 CO_2 的激光下能级的粒子却在增加,因而,引起粒子反转数的

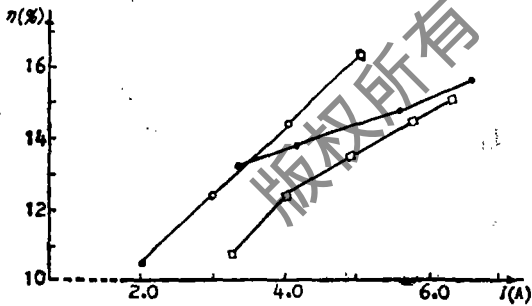


图3 激光器的光电转换效率与放电总电流的关系
 实验条件: $P_{总} = 60 \text{ Torr}$, $\text{CO}_2 : \text{Ar} : \text{N}_2 = 10 : 1.5 : 1.5$; 第一、二、三、四排针的镇流电阻对应为: $\circ - 311\Omega, 422\Omega, 614\Omega, \infty$ $\square - 299\Omega, 381\Omega, 581\Omega, 2426\Omega$ $\bullet - 300\Omega, 401\Omega, 564\Omega, 830\Omega$

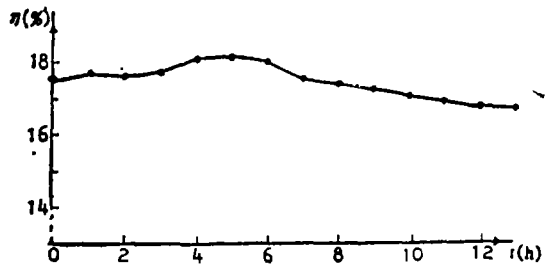


图4 激光器长期运行稳定性曲线
 实验条件: $P_{总} = 60 \text{ Torr}$, $\text{CO}_2 : \text{Ar} : \text{N}_2 = 10 : 1.5 : 1.5$; 第一、二、三、四排针的镇流电阻分别为: $311\Omega, 422\Omega, 614\Omega, \infty$

外腔式He-Ne激光器的偏振特性

曾 明 丁金星

(国防科技大学应用物理系, 长沙)

摘要: 实验观察到外腔式He-Ne激光器由于增益管的应力双折射效应而呈现复杂的偏振特性。对几种典型的增益管的应力双折射相移进行了理论分析和实验测量。在增益管端口的增透片上施加适当的径向压力可获得单一的线偏振光输出。

Polarization characteristics of external cavity He-Ne lasers

Zeng Ming, Ding Jinxing

(Department of Applied Physics, National University of
Defence Technology)

Abstract: Experimental evidence shows the polarization characteristics of the external cavity He-Ne lasers to be determined mainly by the birefringence of the gas discharge tube. Measuring and theoretical analysis on birefringence of several typical tubes have been carried out. Single-mode linear polarization output can be obtained by means of exerting a suitable radial mechanical pressure to the window plate of the gas discharge tube.

四、结 论

经过对2.5kW横流CO₂(无氦)激光器的研究,得到以下结论:

1. 用Ar代替He来实现横流CO₂激光器运行是成功的。在气体配比合适及制冷条件满足的情况下,选择最佳的镇流电阻,转换效率比有He时要高些。
2. 在不采用多折腔的横流激光器中,沿着风速方向拓宽增益区的办法来提高输出功率是不够理想的。要提高激光器的输出功率,增加增益的长度比拓宽增益区的宽度更有益。

参 考 文 献

- [1] Armandillo E, J Phy D. Appl Phys B, 1980; (2): 321~328
- [2] 陈海韬. 中国激光, 1984; 11(5): 257~262
- [3] 夏祖勇, 丘军林. 中国激光, 1987; 14(12): 705~709

收稿日期: 1991年4月16日。