

无He横流连续CO₂激光器的新进展

龚志伟 薛静 唐宗化 袁好 丘军林

(华中理工大学激光研究所)

在横流CO₂激光器中,我们以Ar(CO₂-N₂-Ar)代He(CO₂-N₂-He)实现了1kW连续激光输出,并获得以CO₂-N₂实现了1.2kW连续激光输出的稳定运行。

Development of transverse-flowing CW CO₂ laser without helium

Gong Zhiwei, Xue Jing, Tang Zhonghua, Yuan Yu, Qiu Junlin

(Institute of Laser, HUST)

Abstract

1kW laser output has been realized by replacing helium (CO₂-N₂-He) with argon(CO₂-N₂-Ar) and stable operation is obtained at the level of 1.2 kW laser output by using CO₂-N₂ in the transverse-flowing CO₂ laser.

一、前言

电激励针板式高功率横流连续CO₂激光器的工作气体一般为CO₂:N₂:He=1:7:20

(总压力90Torr)。我们在获得的发明专利中(见图1)^[1],是以CO₂:N₂:Ar=1.5:10:10(总压力62Torr)实现了1kW连续激光输出。在此基础上,又研究出以CO₂:N₂=1:8(总压力52Torr)获得了1.2kW连续激光输出。使激光器的气耗费用大大降低,且在更方便的条件下正常运行。

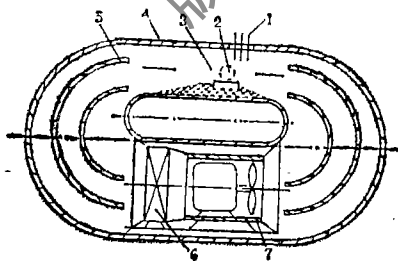


图1 激光器结构示意图。

1. 阴极; 2. 光腔; 3. 阳极;
4. 外壳; 5. 导流片; 6. 热交换器; 7. 轴流风机

二、实验研究

我们主要对激光输出参数、气体最佳混舍比、气体分解度、输出镜参数等进行实验

研究。

1. 激光输出参数

以 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 = 1 : 8$ (总压力52 Torr) 为工作气体,作大于4h的连续运行,获得了1.2 kW激光功率(P_0)输出,电光转换效率 $\eta = 13.7\% \pm 0.1$,功率不稳度 $< 0.8\%$,见图中曲线所示。

曲线表明,以 $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ 为工作气体所获得的技术指标均与以 $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$ (或Ar) 的指标相当;运行时的稳定性较好是由于放电时的分解物(CO 、 O_2 、 NO_x)达到平衡的时间较短所致。

2. 气体最佳混合比

图3是 P_0 及 η 随 N_2 变化的曲线,可见 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 \approx 1 : 8$ 时, P_0 及 η 值达最佳范围。

实验还表明,总气压增加时,使工作物质密度及粒子反转数增加,而导致 P_0 增加。但同时也造成激光器起辉电压增加而不利于正常工作^[3],实验中获得最佳总气压为52 Torr。

3. CO_2 分解度

我们用气相层析仪检测试样中 CO_2 分解情况 ($2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$),以不同的工作气体使激光器运行并达到稳定时, CO_2 的分解已平衡,其数据一并列于表1中。

CO_2 分解度随时间变化情况以及对输出

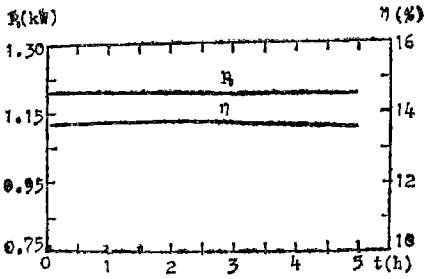


图2 P_0 、 η 与时间关系曲线。
 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 = 1 : 8$; 52Torr

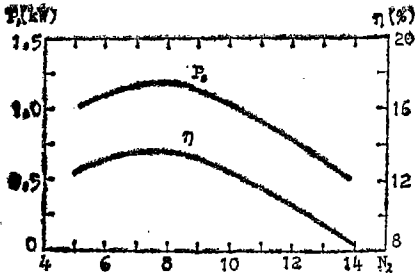


图3 P_0 、 η 与气体比关系曲线

表1 各种气体中 CO_2 的分解度

气体组分	$\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$	$\text{CO}_2 : \text{N}_2$	$\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{Ar}$
	1:7:20 (90Torr)	1:9 (45Torr)	1.5:10:10 (62Torr)
检测量			
初始 $[\text{CO}_2]$ (%)	3.57	10.00	6.98
分解后 $[\text{CO}]$ (%)	0.67	1.75	0.72
分解度 f (%)	18.80	17.53	10.32

功率的影响分别见图4及图5所示。

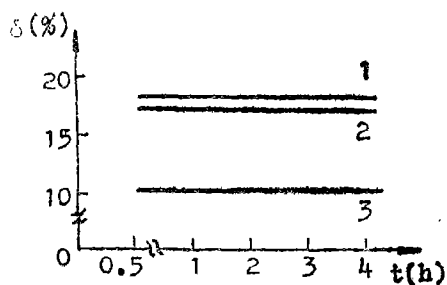


图4 分解度 δ 与时间变化曲线。1. $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$; 2. $\text{CO}_2\text{-N}_2$; 3. $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-Ar}$

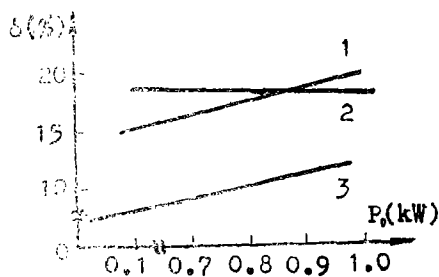


图5 分解度 δ 与 P_0 关系曲线。1. $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$; 2. $\text{CO}_2\text{-N}_2$; 3. $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-Ar}$

从图4可看出 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ 分解度最高, $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 次之, $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-Ar}$ 最小。图5则说明 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ (或Ar) 的分解度随输出功率增加而增加, 但前者更显著; $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 几乎无影响而近似一水平线。

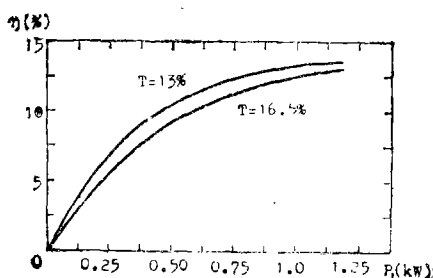


图6 T与 P_0 - η 关系的曲线。
 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 = 1 : 8$; 59 Torr

4. 最佳透射率 T_m

采用不同透射率输出镜, 在相同 P_0 时所得的 η 值不同。实验表明, 当 $T=15\%$ 及 16.5% 时, 所得 η 值相近; 而 $T=13\%$ 时, η 值比前者均高 (见图6)。这是在增益区长度为74cm时获得的最佳透射率范围, 然而 T_m 与增益区长度有关^[3], 长度增加时, T_m 值也相应提高。

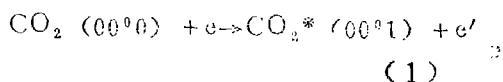
三、讨 论

1. 激发过程

从图7^[4]可看出 CO_2 分子产生最强激光跃迁是 $00^0 1 \rightarrow 10^0 0$ ($10.6\mu\text{m}$) 和 $00^0 1 \rightarrow 02^0 0$ ($9.6\mu\text{m}$)。

外界能量将 CO_2 分子从基态激发到 $00^0 1$ 能级有如下几种方式。

a. 电子直接碰撞激发 具有适当能量的电子与基态 CO_2 分子产生非弹性碰撞, 将 CO_2 分子直接激发到 $00^0 1$ 能级, 即:



式中, $\text{CO}_2 (00^0 0)$ 与 $\text{CO}_2^* (00^0 1)$ 分别为基态分子与激发态分子; e 与 e' 分别为快速电子与慢速电子。

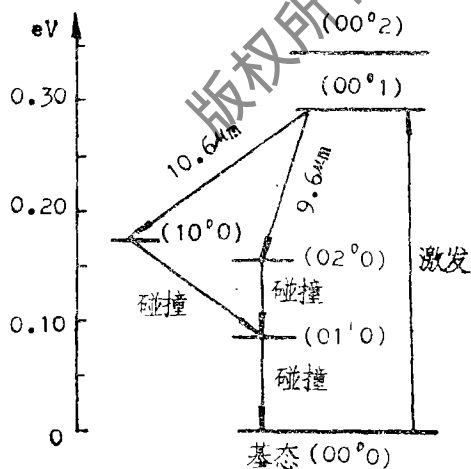
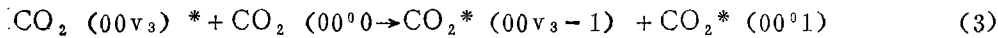
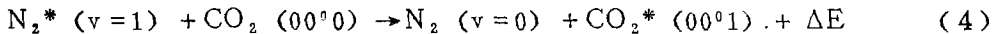


图7 CO_2 分子能级简图

b. 串级跃迁激发 高能电子将CO₂分子激发到00v₃能级 (v₃>1, 如002, 003…), 当它们失去一部分能量时而转移到低一级 (00v₃-1), 失去的能量却转给基态CO₂分子, 并使之激发到00⁰1能级, 即:



c. 共振转移激发 如果在工作物质CO₂中掺N₂, 也会被电子碰撞到激发态N₂^{*}(v=1) 并通过共振转移激发, 将基态CO₂分子激发到激光上能级, 即:



式中, ΔE为N₂^{*}(v=1) 与CO₂(00⁰0) 之间能量差。

可见, 加入适量N₂来提高CO₂分子00⁰1能级的激发速率可明显提高激光输出功率和效率, 因此N₂成为CO₂激光器中主要辅助气体。当总气压一定时, 含N₂量过高会减少CO₂分子数, 使00⁰1能级粒子数亦减少, 又导致激光输出功率下降, 实验结果CO₂:N₂≈1:8, 总气压52Torr是合适的。

2. He与Ar的作用

一般横流 CO₂ 激光器中加入大量He, 是由于其导热能力强而加速放电气体冷却, 使(10⁰0)、(02⁰0) 能级粒子数相对减少; 增加(01¹0)能级的驰豫速率; 且不影响(00⁰1)能级粒子数分布等特点。

我们以Ar代He实现了无He运行, 基于掺Ar时的E/N值高于掺He, 且电子温度达2.31 eV^[6], 这时N₂(1~8) 振动能级有最大激发截面(见图8), 增强了共振转移激发(即式(4))。所以在相同功率输出时, 掺Ar时的η值略高于掺He; 掺Ar时的分解度较低, 使激光输出的稳定性能优于掺He。例如, 我们作 >32.5h 连续运行时, P₀=1.035kW 情况下, η=14%, 功率不稳定性 <± 3%。

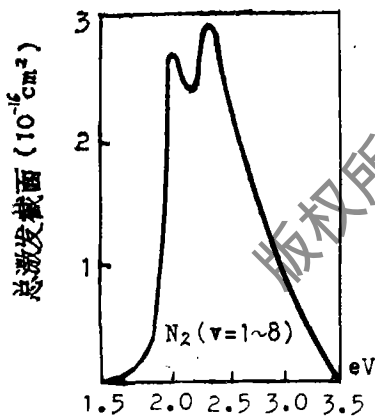


图8 N₂(v=1~8) 激发截面与电子能量关系曲线

我们以Ar代He实现了无He运行, 基于掺Ar时的E/N值高于掺He, 且电子温度达2.31 eV^[6], 这时N₂(1~8) 振动能级有最大激发截面(见图8), 增强了共振转移激发(即式(4))。所以在相同功率输出时, 掺Ar时的η值略高于掺He; 掺Ar时的分解度较低, 使激光输出的稳定性能优于掺He。例如, 我们作 >32.5h 连续运行时, P₀=1.035kW 情况下, η=14%, 功率不稳定性 <± 3%。

3. CO₂-N₂的可行性

在横流 CO₂ 激光器的主要工作气体 CO₂-N₂中, 加入适量He或Ar对正常运行有一定贡献, 但有不足之处; 也并非必须加入不可。

加 He使气体分解度增加而降低了P₀及η的稳定性; 放电时的剩余热量可由快速流动的气体带走, 只要处理好热交换^[6], He的特点就并不显得突出, 因此以Ar代He实现了无He运行。

掺Ar的主要缺点是导热系数低、质量流量高而对热交换要求严格; 同时也使风机的注

入功率略有增加。

$\text{CO}_2\text{-N}_2$ 是主要工作气体从理论上已被证明,在寻求新的工作气体时我们用它进行实验,证明作为工作气体是可行的,所得到的激光输出参数与用 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ (或Ar)相当。虽然其分解度为17.53%,但由于平衡时间短致使运行时的 P_0 及 η 值比较稳定,其 η 值略低于掺Ar1%左右,由于风机消耗的功率比掺Ar时少,以致实际总效率与掺Ar相当。因此,以 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 作为工作气体是又一种无He运行的探索,也是可行的。

目前存在的问题是 N_2 的电离电位较高而提高了起辉电压,对激光器运行不利,也因此将工作气体总气压控制在52Torr范围内。通过适当的方式(例如改善预电离)降低起辉电压将更有利于以 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 为工作气体的无He运行。

四、结 论

通过理论分析和实验研究证明采用 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 作为横流 CO_2 激光器的工作气体是可行的,而 $\text{CO}_2:\text{N}_2=1:8$ (总气压52Torr)是合适的。所获得的激光输出功率及总效率与用 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ (或Ar)相当。由于气体分解时间短、平衡快,使激光输出比较稳定。最佳透射率 $T_m\approx 13\%$,与采用 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ (或Ar)相近,因此使用 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 时不需要更换输出镜。

He在横流 CO_2 激光器中起着积极作用,要求激光器承受热负荷的能力稍低,因此受到国内外科技工作者的重视并广泛采用;理论与实践证明,在横流器件中,只要设计合理,以Ar代He是可行的;然而在以Ar代He的激光器中,用 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 为工作气体也是可行的,从而为无He运行又寻求到新的途径,使气耗成本更低,使用也更方便。但是采取措施降低其起辉电压是需要进一步探讨的问题。

参 考 文 献

- [1] 丘军林等,无He全封横流连续 CO_2 激光器,发明专利号:86 1 00643.7。
- [2] J.Phys., D: Appl.Phys., 1985, Vol.18, P.1361~1370。
- [3] 周炳坤等,《激光原理》,国防工业出版社,第90页。
- [4] 徐荣甫等,《激光器件与技术教程》,北京工业出版社,第51~56页。
- [5] 活力/一研究,1980, Vol.8, No.2, P.46~53。
- [6] 《中国激光》,1988年,第15卷,第2期,第110~111页。

*

*

*

作者简介:龚志伟,男,1937年5月出生。副教授。现从事气体激光器及其应用的研究以及教学工作。

薛 静,男,1962年11月出生。助教。华中师范大学物理系任教。

唐宗化,男,1935年5月出生。高级工程师。现从事气体激光器的研究工作。

表 好,女,1937年4月出生。工程师。现从事气体激光器的研究工作。

收稿日期:1988年7月18日。