

射频激励快速轴向流动 CO₂ 激光器的 实验研究

高 允 贵

(中国科学院安徽光机所, 合肥, 230031)

R. Dohlus, Helmut Paul

(德国巴塞尔激光技术公司)

提要: 在不同的放电管尺寸、光腔参数、CO₂ 混合气体的压力、风机的体积抽速下测得了射频激励快轴流 CO₂ 器件的激光输出特性曲线、阈值曲线。实验找出了 CO₂ 混合气体的最佳配比。将实验结果与直流激励同一器件的输出做了比较。

关键词: 射频, 快轴流 CO₂ 激光器

Experimental investigation of a fast-axial-flow CO₂ laser excited by RF

Gao Yungui

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei)

R. Dohlus, Helmut Paul

(Carl Baasel Lasertechnik GmbH, BRD)

Abstract: Laser output curves and a threshold curve of a fast-axial-flow CO₂ laser excited by RF were measured at different dimensions of laser discharge tubes, different parameters of the optical cavity, different pressures of CO₂ mixture gases and different volume pumping velocities of the blower, respectively. The optimal ratio of CO₂ mixture gas was obtained. The experimental results were compared with laser output of the same experimental apparatus excited by DC.

key words: RF, fast-axial-flow CO₂ laser

DC 激励的快速轴流大功率 CO₂ 器件由于放电电流自持磁场造成了放电光柱的收缩, 辉光放电在局部极易向弧光过渡, 虽在器体中安置了紊流喷嘴, 激光输出仍不够稳定。射频激励的快轴流大功率 CO₂ 器件(以下简称 RF FAF 器件)由于电流方向的迅速变化, 放电来不及向弧光过渡因而其输出非常稳定。此外它的单位激活体积输出高, 脉冲运用特性好, 因而该器件近年来发展很快。本文将对 RF FAF 器件的基本参数进行实验研究。

一、RF FAF 实验的基本装置

实验装置是由 VFA 600 型器件改建而成的。VFA 600 型是四段放电, 输出为 600W 的 DC 激励的 FAF 器件。装置示于图 1, 光腔长度为 1.66 m。风机为抽速 500 m³/h 的 WA5 型罗茨风机, 热交换器为原器件所设。射频实验以两段放电管进行。两对容性电极分别经过匹配网络和射频功率计各自与射频源相连。电缆的特性阻抗为 50Ω。射频源为 hfa TK2715 电子管振荡器, 频率 27.12 MHz, 功率 5 kW。激光功率由红外探测器监测。 P_1 , P_2 分别为放电段进气口及罗茨泵进气口气体的静压。 T_1 , T_2 为放电段进出气口的气温。射频功率计为 43 型功率计。

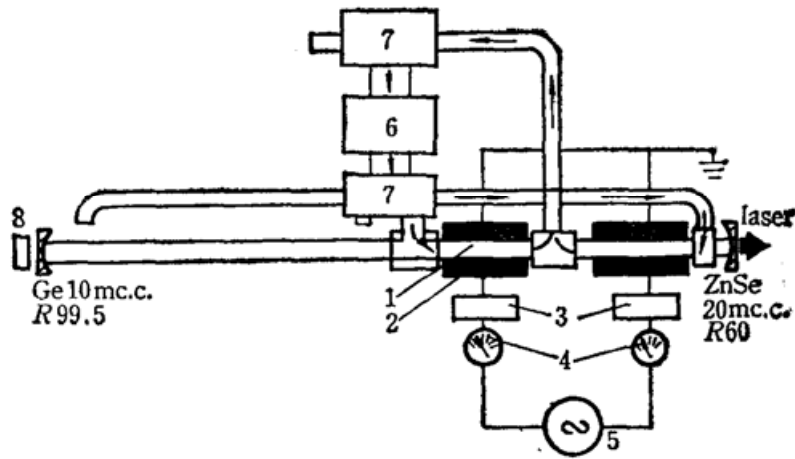


Fig. 1 Diagram of experimental setup for RF excited FAF CO₂ laser
1—discharge tube; 5—RF generator; 2—RF electrode; 6—Roots blower; 3—matching network; 7—heat exchanger; 4—RF power meter; 8—IR-detector

二、RF FAF 器件的实验

1. 激光等离子体阻抗匹配的实验

为了让射频功率无反射地从射频源经同轴电缆向放电等离子体传输, 必须用一匹配网络将激光等离子体阻抗变换到 50Ω。所用两种形式的匹配网络如图 2, 图 3 所示。实验发现, 两个放电段之间存在着互耦现象。这给调节匹配带来极大的不便。射频电极的形状及不同配置极大地影响了等离子体阻抗, 影响了阻抗匹配。

2. 在不同射频功率下测量器件出口的气体温度

放电管内径 20 mm。改变输入的射频功率并调最佳匹配, 测量器件出口气温 T_2 。结果表明, 器件出口气温与输入射频功率近似为线性关系, 如图 4 所示。

3. 光腔参数的实验

改变放电管内径观察激光模式的变化。输出镜除 20 m 凹镜外, 并换平镜观察, 结果示于表 1。

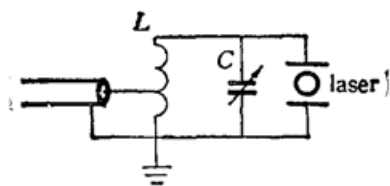


Fig. 2 Number 1 of the π type match network

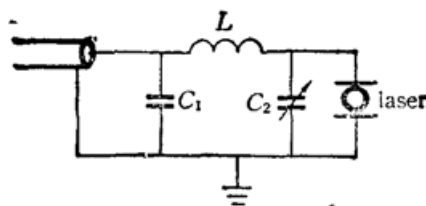


Fig. 3 Number 2 of the π type match network

Table 1 Laser mode of different diameters of discharge tubes

Diameter of discharge tube	Lowest mode	Highest mode
14	TEM ₀₁ *	TEM ₁₀
17.5	TEM ₁₀	TEM ₁₁ *
18	TEM ₁₀	TEM ₁₀
19	TEM ₁₁ *	TEM ₁₁ *
20	TEM ₂₀	TEM ₂₁ *

改变输出窗反射率测量激光功率输出曲线。实验参数及测量结果示于图 5。由图可见, 反射率为 80% 的输出窗给出了最大激光功率达 470W, 较 60% 反射率组高出了 26.7%。

4. 改变 CO₂ 混合气体的压力测量激光功率输出曲线

实验参数和测量结果示于图 6, 图 7。由图可见, 当风机抽速提高后, 器件在高气压的输出有了明显改善。此外, 随着 CO₂ 混合气体压力的提高, 激光等离子体开始发出激光所需的射频功率也升高, 即激光阈值随着气体压力的上升而升高。图 8 示出了二者的关系曲线。

5. RF FAF CO₂ 器件混合气体的最佳配比实验

实验时保持混合气体总气压恒定, 改变待测气体分压, 另外两种气体气压按固定配比相应变化, 测出激光功率曲线, 结果列于表 2。实验分两组进行。

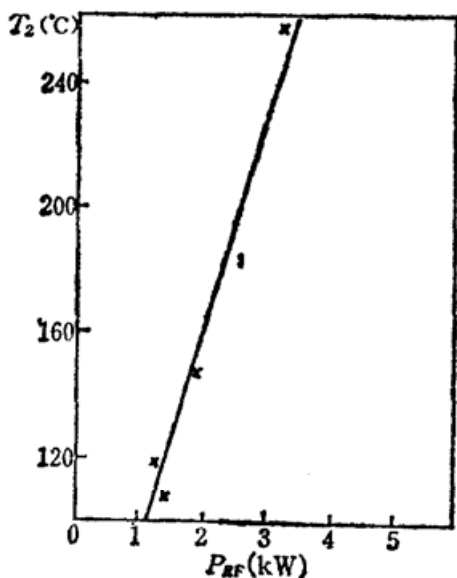


Fig. 4 Relation between RF input power and gas temperature at outlet of the laser

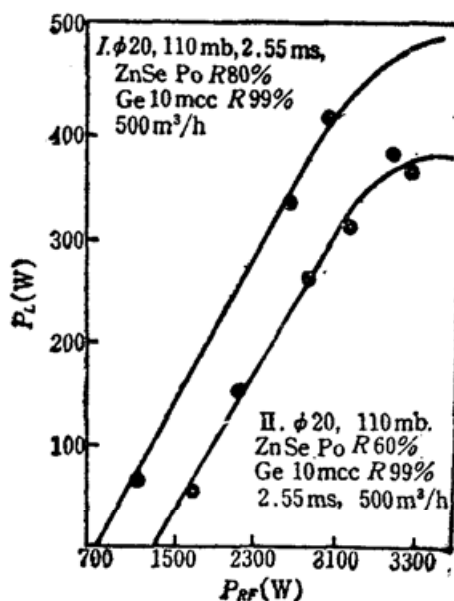


Fig. 5 Output characteristics of the laser with different reflectivities of output windows

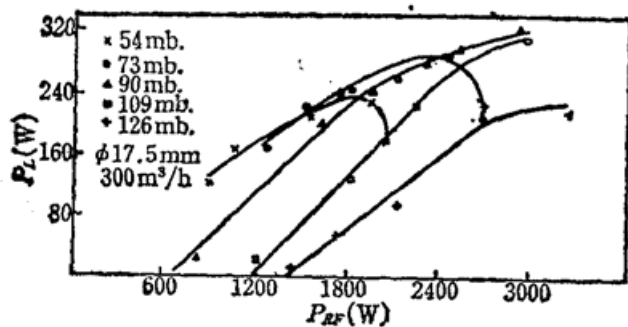


Fig. 6 Relation between laser power and input RF power

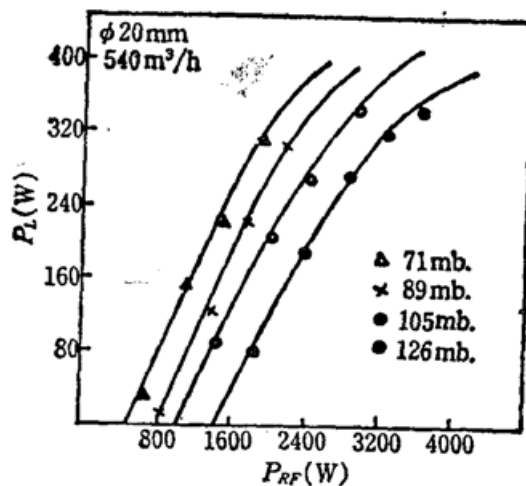


Fig. 7 Output characteristics of the laser at different gas pressures

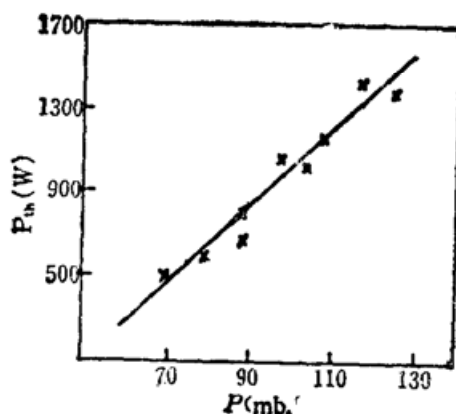


Fig. 8 Relation between laser threshold power and gas pressure of the laser

Table 2 Optimal ratio of mixture gas for RF FAF CO₂ laser

Experimental parameters	A	B
Operating gas	CO ₂ , N ₂ , He	CO ₂ , N ₂ , He
Gas pressure of still station (mbar)	105	130
Volume speed of blower (m ³ /h)	300	490
Diameter of discharge tube (mm)	17.5	18
RF input power (kW)	2.3 (27 MH)	3.1 (27 MH)
Optimal ratio of mixture gas	CO ₂ :N ₂ :He=7.5:16.5:76	CO ₂ :N ₂ :He=6.2:13.4:81

三、讨 论

1. 均匀高频气体辉光放电的实现

本实验的关键是实现均匀的高频气体辉光放电。RF 电极形状及如何安置影响高频场的

场强分布,影响了放电均匀性。本实验的电极为圆弧面的容性电极。实验结果表明,为了进一步提高电-光转换效率,仍然有必要寻找出新的电极来改善沿电场方向和光轴两个方向上辉光放电的均匀性。

2. 放电管材料和尺寸的选取

RF FAF 实验要求放电管本身高频能量的损耗尽量小,不易被高频击穿。由表 3,石英玻璃是较为理想的材料。放电管内径影响光学谐振腔的费涅耳数,而壁厚的选取需考虑到管壁电容对阻抗匹配的影响。RF FAF 激光等离子体阻抗的等效电路示于图 9。图中 R, C_p 为等离子体阻抗的等效电阻及电容; C_w 为放电管管壁电容; C_z 为电极之间的分布电容。计算表明,壁厚为 1.2 mm 外径为 24 mm 的石英管其 C_w 达 112(pF)。以上 R, C_p, C_w, C_z 及 RF 的频率就决定了匹配网络电感和电容参数。

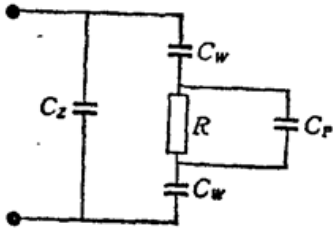


Fig. 9 Equivalent circuit of the laser plasma impedance of RF exciting CO₂ laser

激光等离子体阻抗与充气压力、气体流速,耦合进射频功率的大小,频率高低及放电管的内径有关。

3. RF FAF 器件混合气体中 N₂ 的最佳含量低于 DC 激励同一器件 N₂ 含量近似 10%。

Table 3 physical characteristics of the material of discharge tube

	ϵ_r	Loss angle	Melting point (°C)
Duran glass	4.7	55×10^{-4}	815
Quartz	3.7	$< 10^{-4}$	1600
Ceramic (Al ₂ O ₃)	9.2	$< 2 \times 10^{-4}$	1900

图 10 示出了图 1 的实验装置在 DC 激励下的实验最佳参数和结果。(当然,此时需附加两个紊流喷嘴)。比较 RF 和 DC 的实验结果可见,RF 激励下 N₂ 的最佳含量较 DC 激励低约 10%。理论分析表明,RF 激励下最佳工作点的平均 $(E_0/\sqrt{2})/N$ 值较 DC 最佳工作点的 E/N 值降低了 $0.8 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^{2/11}$,因而 N₂ 的 $V(1-8)$ 振动能级的激发速率常数从 DC 的 $2.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 降低到 RF 的 $1 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。实验结果证实了这个分析。

4. RF FAF CO₂ 器件大大改善了脉冲运用特性

众所周知,影响 CO₂ 器件脉冲运用调制频率的主要参数是脉冲后沿的下降时间 T_a 。为了提高频率必须尽可能缩短 T_a 。 T_a 随器件充气压力升高和混合气体中 N₂ 的含量降低而减小。由图 7 和图 10 再考虑讨论 3, RF FAF CO₂ 器件的脉冲运用频率可以大大地高于 DC FAF CO₂ 器件。本实验装置在气压为 130 mb., 气比为 CO₂:N₂:He=6.1:14.9:77 时,最大的脉冲调制频率达 15 kHz。DC FAF 只有 2 kHz。

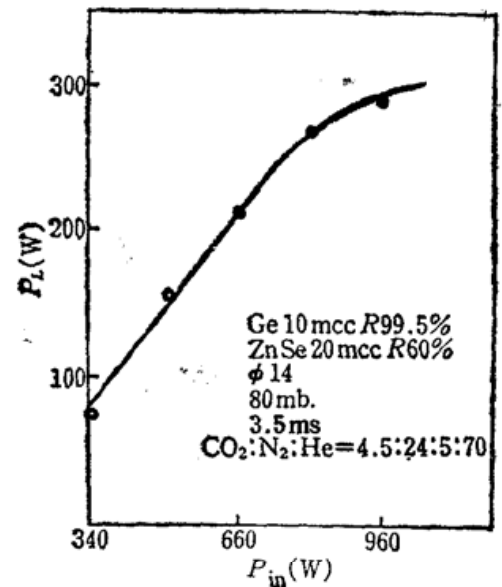



Fig. 10 Output characteristics of DC excited fast-axial-flow CO₂ laser

本实验是在德国巴塞尔激光技术公司实验室完成的。作者衷心感谢卢茨·朗汉斯博士的讨论和指导,感谢卡尔·巴塞尔先生对本实验的资助。

参 考 文 献

1. Rolf Wester, Hochfrequenzgasentladungen zur Anregung von CO₂-Laser FOTODRUCK J. MAINZ GmbH, p 29
- 

十四省光学(激光)学会 92 年联合学术年会在洛阳召开

由河南、黑龙江、江苏、山东、湖北、陕西、吉林、辽宁、湖南、浙江、贵州、广东、广西、江西省光学(激光)学会联合举办的 92 年学术年会于 1992 年 4 月 22 日至 27 日在河南省洛阳市召开。有 150 多名代表参加了会议。

大会共收到 269 篇论文。会议期间,除大会交流外,还分四个专题组对光学和激光应用、器件和材料、理论与方法研究及光谱学、激光医疗和激光生物学进行了交流,大小会议上共宣读了七十多篇论文。

(吉 禾)