

直流激励慢速流动陶瓷放电管 CO₂ 激光器的实验研究

高 允 贵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

提 要

直流激励慢速流动陶瓷管 CO₂ 激光器的基模功率较玻璃管激光器高 45%。实验结果优于美国 J. Macken 分布型镀金薄膜对基模 CO₂ 激光器的改善功能。文中还讨论了该激光器大幅度提高功率的机理。

关键词: 陶瓷管激光器、气体温度。

一、引 言

一些新型 CO₂ 激光器, 如射频激励大面积放电波导 CO₂ 激光器, Macken 放电 CO₂ 激光器等, 它们的输出功率有极大的吸引力, 然而, 这些器件在激光模式及结构上存在着极难克服的困难。作为中、小功率激光加工器件, 直流激励慢速流动 CO₂ 激光器至今仍然是最有用、最简单的器件。Macken 着眼于 CO₂ 气体的分解, 复合作用, 利用分布型镀金薄膜改善直流激励慢流 CO₂ 激光器的输出性能, 使功率提高了 47%^[1]。

实验表明, 分布型镀金薄膜催化剂技术只能适用于内径 16 mm 至 28 mm 的较大放电管。输出激光模式为 TEM₀₁*。应用这项技术, 慢流器件工作时首先必须对金催化剂作激活处理。激活处理的方法及参数又随放电管内径, 激光气体的混合配比的不同而异。作者使用了由 Macken 专门镀过金膜的放电管做激光实验, 发现金膜的激活处理很难奏效。鉴于以上原因, 本文着眼于器件的热效应找到了一个新的途径改善直流激励慢流 CO₂ 激光器输出特性*。

二、实验及结果

本实验的慢流 CO₂ 激光器的结构如图 1 所示。器件的光学谐振腔是经过一次偏折的平凹稳定腔, 由输出窗, 全反镜和偏折反射镜组成。平面 ZnSe 输出窗的透过率为 40%, 全反镜是锗凹面镜, 曲率半径为 20 m, 反射率为 99%。偏折镜是一块硅平面反射镜, 反射率为 99%, 位于全反镜前面不远处。激光波长为 10.6 μm。器件放电等离子体区是由两根 1 m 长陶瓷管串联而成, 瓷管为含 99.7% 的 Al₂O₃ 陶瓷, 管内径 7.8 mm, 壁厚 2 mm。圆筒形

收稿日期: 1990年5月21日; 收到修改稿日期: 1990年9月4日

* 本文用陶瓷管建造激光器而无需催化剂。

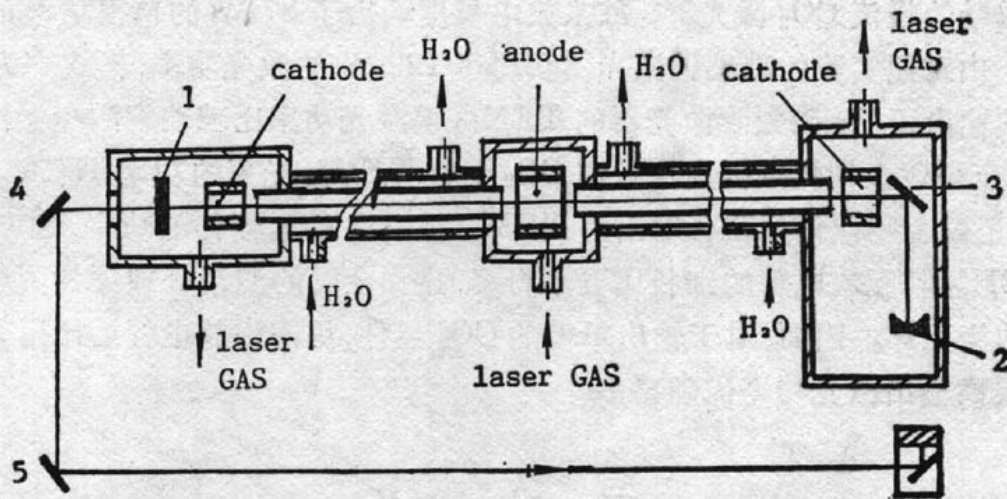


Fig. 1 Experimental Configuration of DC exciting slow-flow CO₂ Laser

1—ZnSe, PO, R 60%; 2—Ge 20m CO, R 99%; 3, 4, 5—Si, PO, R 99%

的无氧铜阳极阴极分别位于放电区的两端。CO₂ 混合气体的最佳配比为 CO₂:N₂:He = 1:2.6:4.4。三种气体的前置压力均为 1.5×10^5 Pa。气体慢速流动, 气体循环泵的抽速为 0.7 l/s。器件的最佳气压为 45×10^2 Pa。陶瓷放电管外面有一玻璃冷却水管, 通过去离子水来冷却器件。两个腔镜座亦通水冷却, 水路与放电区冷却水管串联。循环水泵的抽速为 25 l/min, 水流与气流方向相反。去离子水的温度在 12.7°C 至 15.5°C 之间波动。去离子水在循环水箱内由地下水进行冷却。器件的放电电流为 70~72 mA。激光束自输出窗射出后, 经过两只全反射偏折镜入射到光闸上, 光闸距输出窗 2.2 m。激光功率计是美国 Laser-craft 公司出产的 Mode P-100 型功率计, 测量时间 10 sec, 满刻度功率值为 100 W。温度计是西德的 562 型万能数字式温度计。

采用玻璃放电管做了对比实验。玻璃放电管每根长 1 m, 内径 8 mm, 按图 1 串联组成放电区。外壁通去离子水冷却。光学谐振腔结构及参数, 外光路系统均保持不变。玻璃的牌号为德国 Duran 玻璃。气体慢流。玻璃管器件的最佳气体配比 CO₂:N₂:He = 1:3:4 (压力比) 最佳气压为 32.5×10^2 Pa, 放电的最佳电流 70 mA。

Table 1

No.	1	2	3	4	5	6	7
[W]	175	172	171	174	173	180	175
[W]	174						

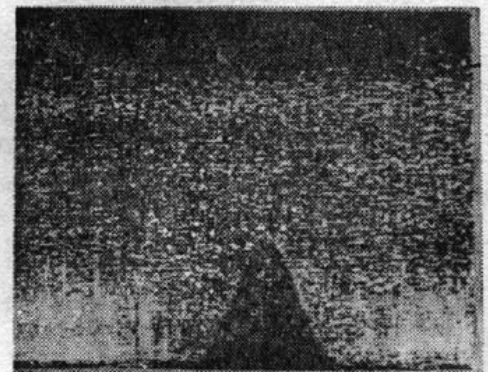


Fig. 2 The laser mode of DC exciting slow-flow CO₂ laser with 2×1 m Ceramic tubes

在上述的参数下, 测得陶瓷管激光器单模输出功率为 174 W。示于表 1。激光在有机玻璃块上烧制的模式图样示于图 2。由图 2 可见, 陶瓷管激光器输出了极好的 TEM₀₀ 模的

激光。直流激励的慢流 CO_2 激光器, 每米放电长度输出了 87 W 的单模功率是至今所见到的最好结果。由对照实验的玻璃管激光器获得了 120 W 的激光功率, 模式亦为 TEM_{00} 。比较两种器件的输出可见, 陶瓷管激光器的 TEM_{00} 模激光功率比玻璃管激光器提高了 45%。Macken 用分布型镀金催化剂提高了慢流 CO_2 器件 TEM_{01}^* 光束的功率 47%。由光学谐振腔理论知, 若用镀金膜催化剂改善输出为 TEM_{00} 模慢流 CO_2 器件的功率, 其放电管的细长比必定比 TEM_{01}^* 膜腔放电管的细长比要小得多, 这样金膜的激活处理更加困难, 复合再生 CO_2 分子的功能变坏。因而, 对于输出单模的 CO_2 器件, 用陶瓷放电管远比用 Macken 的金膜催化剂对提高输出激光功率优越得多。

三、讨 论

(1) 实验表明, 陶瓷管慢流激光器开始工作时, 输出的激光功率和对照实验的玻璃管激光器几乎完全一样, 随着器件工作时间的延长, 其输出的激光功率不断缓慢地上升, 这个过程持续达数小时。这个现象可作如下解释: 陶瓷是一种多孔材料。在陶瓷烧制过程中和在空气中存放时, 瓷件的小孔吸附了大量的气体。器件开始工作、激光气体放电激励时, 瓷管发热。热的管壁将释放出大量被吸附的气体。这些气体进入放电空间后大大改变了器件的混合气体配比和充气压力, 使它们远离其最佳值。器件输出功率很低。随着器件工作时间的加长, 瓷管释放气体的量逐渐减小, 由于气体在慢速流动不断更新, 气体逐渐达到其最佳配比和最佳气压, 器件的功率缓慢地持续地上升。管壁完全放气后, 器件才能给出最大输出功率。为了验证上述分析, 我们做了放电烘烤管壁的实验。放电电流 82 mA, 连续放电 8 hr。每放电 1 hr, 降低电流至最佳值测其激光功率。结果表明, 每放电烘烤 1 hr, 器件的激光功率平均增加 7 W。整个烘烤放电完成后, 器件较开始时输出的激光功率高 50 多 W, 总计达 174 W。陶瓷放电管最好的处理方法是置于真空炉中除气, 出炉后立即组装成器件。器件在闲置时也保持真空。

(2) 为了寻找陶瓷管激光器激光功率大幅度提高的机理, 做了如下实验:

通过建立另外两个陶瓷管慢流 CO_2 激光器。放电管为内径均是 8 mm, 壁厚 2 mm, 放电长度分别是 1 m 和 1.5 m 的 Al_2O_3 陶瓷管。二个器件的光学谐振腔参数完全相同, 均为平凹稳定腔。ZnSe 平面输出窗透过率为 40%, 全反射凹面镜的曲率半径 20 m, 反射率为 99%。对照实验是以长为 1 m 和 1.5 m、内径为 8 mm 的玻璃放电管代替陶瓷管、保持光学谐振腔参数不变而进行的。图 3、图 4 分别示出了这四个激光器的实验结果, 它们是在陶瓷管未经彻底烘烤去气之前测得的。

相应于器件最大输出激光功率点的输入电功率称之为最佳输入功率。由图 3, 长为 1.5 m 陶瓷管激光器最佳输入功率比其对照实验的玻璃管激光器高 100 W。由图 4, 长度为 1 m 的陶瓷管激光器最佳输入功率比玻璃管激光器高约 80 W。陶瓷管激光器的输出激光功率和效率均比玻璃管器件高。

扩散冷却 CO_2 激光器(包括慢速流动 CO_2 激光器、封闭静止 CO_2 激光器)输出的光功率密度取决于器件中电子浓度和气体温度。光功率密度比例于器件激光介质的小信号增益 α_0 乘以饱和强度 I_s , $\alpha_0 I_s$ 随电子浓度增加而上升, 随气体温度上升而下降, 其关系示于图

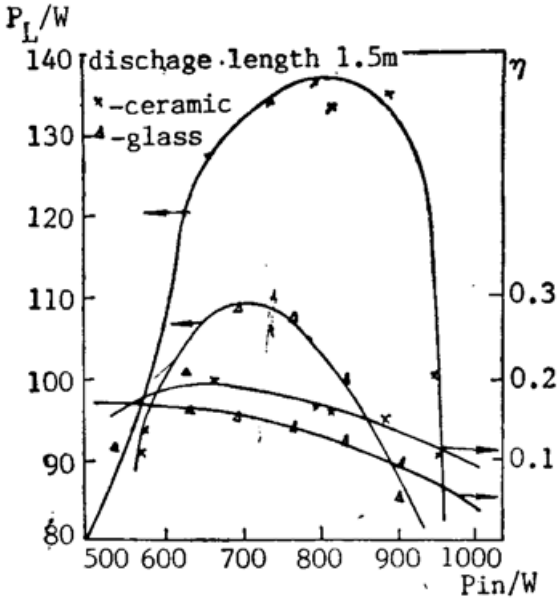


Fig. 3 Output laser power and O-E efficiency of DC exciting slow-flow CO₂ laser with ceramic tubes and glass tubes, respectively

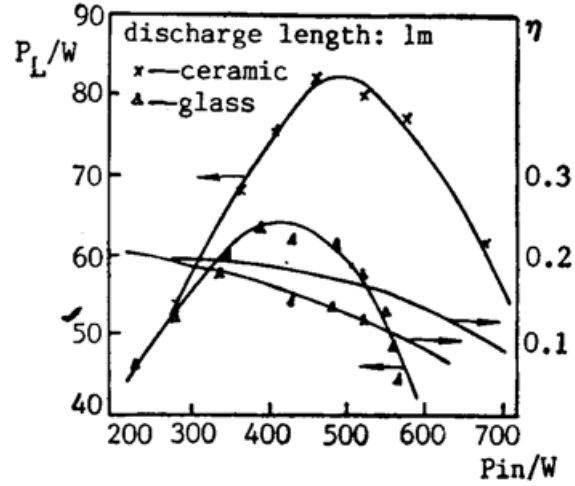


Fig. 4 Output power and efficiency of DC exciting slow-flow CO₂ laser with 1 m long ceramic tube and glass tube, respectively

5^[2]。在图 3 和 4 图中,我们考察一个固定的输入功率点。在此点上,陶瓷管激光器与玻璃管激光器有着相同的电功率输入,然而陶瓷管器件的气体温度却远低于玻璃管器件的气体温度。因为含 99.7% Al₂O₃ 陶瓷的导热系数为 26 W/mK,而 Duran 玻璃的导热系数却只有 1.6 W/mK。再由图 5,在同样输入的电功率下陶瓷管激光器必然会输出更高的激光功率。

电子浓度和气体温度又是一对矛盾的参数器件工作的初始阶段,增加输入的电功率,放电电流上升,激光等离子体内电子浓度上升, $\alpha_0 I_s$ 增加,激光功率上升。这时气体温度上升的影响并不突出。输入电功率的继续增加,器件内气体温度也显著上升,它逐渐使电子浓度增加带来的效益变弱,即随注入电功率的增加,激光功率的增加逐渐变慢。当输入电功率增加到某一特定点后,气体温度的上升完全抵消了电子浓度上升的效益, $\alpha_0 I_s$ 净增值为零。过了这一功率点,输入电功率的增加只用来使气体发热,过热的气体使得 $\alpha_0 I_s$ 下降,此时气体温度起了主要的限制作用。这个特定的输入功率点就是最佳输入功率。由图 4,1 m 长玻璃管激光器的最佳输入功率为 410 W。陶瓷管器件输入电功率达 410 W 后,由于其优良导热性能,继续增加电功率, $\alpha_0 I_s$ 仍能上升,直至 490 W 左右的最佳输入功率点,激光功率增加到其极大值 82 W,比玻璃管器件的最大输出功率多 18 W。1.5 m 的陶瓷管器件比对照实验的玻璃管激光器输出功率多 27 W。由此,在彻底烘烤除气后,2 m 长陶瓷管激光器比对

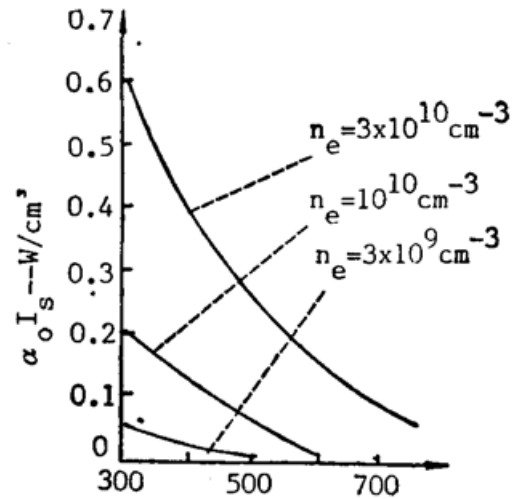


Fig. 5 Variation of maximum optical Power density with electron density and gas temperature for CO₂-N₂-He (0.1-0.1-0.8) laser mixture at 10 torr

照实验的玻璃管激光器输出功率高 45% 就不难理解了。

(3) 激光功率测量的误差来自于以下三个方面。其一是外光路中的两个偏折镜的反射率直接影响了测量结果(图 1), 空气中的尘埃将污染镜面使反射率下降。其二测量时间的误差。10 秒是人为地控制, 人的反应时间需 0.5 秒至 1 秒。其三是功率计黑体表面状态的不均匀性。激光束照射在不同的部位, 黑体吸收能力不同, 带来了测量误差。

四、结 论

本文完成了陶瓷管慢流 CO_2 激光实验。经过烘烤去气, 该激光器每米放电长度输出 TEM_{00} 光束 87 W, 较玻璃管激光器提高功率 45%。这种激光器无需 Macken 分布型镀金催化剂及激活处理, 适用于放电管内径 16 mm 以下的单模激光器。

该实验是在联邦德国 Carl Baasel 激光技术公司完成。作者感谢 Helmt Paul 在器件结构上的帮助, 感谢 L. Langhans 博士对该实验的有益讨论。

参 考 文 献

- [1] John A. Macken *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, **QE-25**, No. 7 (Jul), 1695~1703.
 [2] R. H. Bullis *et al.*; *AIAA J.*, 1972, **10**, No. 4 (Apr), 407~414.

Experimental investigation of DC excitation slow-flow CO_2 laser with ceramic tubes

GAO YUNGUI

(Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics Academia Sinica, Hefei 230031)

(Received 21 May 1990; revised 4 September 1990)

Abstract

The laser output power of TEM_{00} mode from DC excitation slow-flow CO_2 laser made of ceramic tubes is 1.45 times higher as that of the laser made of glade of glass tubes. The experimental results are better than the distributed coated Au film catalyst used for improving output property of DC exciting slow-flow CO_2 laser by Mr. J. Macken. The mechanism of output power enhancement of the ceramic CO_2 laser was discussed.

Key words: laser made of ceramic tube, gas temoerature.