

mJ, 脉宽 200 ps, 重复频率 40 Hz), 测量 Nd:YAG 反射镜式片状放大器的增益系数 β 。光路安排如图 4, 所得增益系数随光泵能量变化的曲线显示在图 5。实验中, 当发生寄生振荡时, 测到的增益马上趋向饱和。表 1 列出在各种条件下产生寄生振荡的阈值及相应测得的增益系数。

参 考 文 献

- 1 David C. Brown, *Appl. Opt.* **17** (2), 211 (1978)
- 2 K. S. Jancaites, L. L. L. Laser Programme, (1982), p. 6.

(收稿日期: 1987 年 12 月 17 日)

CO₂ 波导激光器的最佳化

柳希俊* 周慧芬 王明常

(中国科学院上海光机所)

Optimized waveguide CO₂ laser

Liu Hixhun*, Zhou Huifen, Wang Mingchang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

提要: 计算了内腔封离型 CO₂ 波导激光器的 EH₁₁ 波导模的传输和耦合损耗, 设计并制造了内腔封离型 CO₂ 波导激光器。器件的最高输出功率为 3.57 W, 单位激活长度和体积的输出功率分别为 0.27 W/cm、17.3 W/cm³。

关键词: 内腔封离型 CO₂ 波导激光器

一、引 言

本文计算了派热克斯玻璃 CO₂ 波导激光器中 EH₁₁ 波导模的传输、耦合损耗以及激光器的最佳透过率。在此基础上设计和制造了内腔封离型 CO₂ 波导激光器。描述了封离型 CO₂ 波导激光器的放电特性和器件的结构, 而且对放电参量和输出功率之间的关系等一些实验结果进行了讨论。激光器件的平均输出功率为 3 W, 最高达 3.57 W, 单位激活长度和体积的输出功率分别为 0.27 W/cm 和 17.3 W/cm³, 与理论计算结果相符。

二、实 验 装 置

在电介质中空波导管半径 a 恒定时, 波导管长度 L 由下式决定:

$$0 < N = a^2/\lambda \cdot L \leq 1 \quad (1)$$

在波导激光器中, EH₁₁ 波导模的传输和耦合损耗是它的固有特性。E. A. J. Marcatili 和 R. A. Schmelzter^[1] 推导了中空电介质波导管内电磁场的分布和波导模的传输常数公式, 并且预言了较低阶

次波导模的传输损耗十分低。在中空电介值波导管中, EH_{nm} 波导模的传输损耗为

$$\alpha_{nm} = (u_{nm}/2\pi)^2 \frac{\lambda^2}{a^3} \text{Re}(\nu_n) \quad (2)$$

其中 u_{nm} 是 n 次贝塞尔函数的第 m 个根, u_{nm} 的数值示于表 1。

对中空电介质波导管来说, $\text{Re}(\nu_n)$ 和管壁材料的复折射率 ν 之间的关系为

$$\text{Re}(\nu_n) = (\nu^2 + 1)/2(\nu^2 - 1)^{1/2} \quad (3)$$

$$\alpha_{11} = 1.85\lambda^2/a^3 \text{dB} \quad (4)$$

其中

$$1.85 \text{dB} = (u_{11}/2\pi)^2 (\nu^2 + 1)/2(\nu^2 - 1)^{1/2} \quad (5)$$

取 $\nu = 1.5$, $a = 1 \text{ mm}$,

$$\alpha_{11} = 0.21 \text{ dB/m} \quad (6)$$

在波导激光器中, 反射镜的耦合损耗在以下三种不同条件下最低^[2]: 1. 平面镜越靠近波导管端部, 耦合损耗越低; 2. 曲率半径较小的反射镜, 其曲率半径一半等于从波导入口到反射镜的距离时, 激光器的耦合损耗低; 3. 曲率半径较大的反射镜, 当

* 朝鲜科学院物理研究所, 平壤(Institute of Physics, Academia Korea, Pyongyang)

表1 一些 U_{nm} 数值^[1]

n	m		
	1	2	3
1	2.405	5.520	8.654
2 或 0	3.832	7.016	10.173
3 或 -1	5.136	8.417	11.620

反射镜的曲率中心在波导管入口处时, 耦合损耗低。

当平面镜到波导管入口的距离较小时, 有

$$\alpha_c = 6.05(d/ka^2)^{3/2}, \quad d/ka^2 \leq 0.1, \quad (7)$$

取 $a=1\text{ mm}$, $d=2\text{ mm}$, $\alpha_c=0.02\text{ dB}$ 。则波导管两端的耦合损耗为 0.04 dB 。

还应考虑波导弯曲引起的传输损耗 α_b :

$$\alpha_b \approx 19.3a^3/R^2\lambda^2 \quad (8)$$

式中 R 为波导管曲率半径, 一般情况下, R 为 $210\sim 50\text{ m}$ ^[3]。由式(8)计算出的传输损耗大约为 $0.02\sim 0.43\text{ dB/m}$ 。如果考虑波导管长度的话, $\alpha_b \approx 0.05\text{ dB}$ 。

输出端的透过率为 8% 时, 损耗 α_V 为 0.72 dB 。

根据上述的计算可得总损耗 α_t :

$$\alpha_t = \alpha'_{11} + \alpha'_c + \alpha_b + \alpha_V = 0.84\text{ dB} \quad (9)$$

在典型情况下, 派热克斯玻璃 CO_2 波导激光器的小信号增益大约为 $10\sim 24\text{ dB/m}$ 。放电管长度为 13 cm 时, $G=g_0L > 1.3\text{ dB}$ 。即 $G > \alpha_t$, 就是说, 这样设计和制造的激光器满足激光振荡条件。

可用下式计算波导激光器的输出功率^[4]:

$$P = \frac{I_e \cdot A \cdot t_2 \cdot \sqrt{r_1} [g_0 L - \ln(r_1 \cdot r_2)^{-1/2}]}{(\sqrt{r_1} + \sqrt{r_2})(1 - \sqrt{r_1 \cdot r_2})} \quad (10)$$

取 $t_2=8\%$, $g_0=10\text{ dB/m}$, 由式(10)算出的输出功率为 3.7 W 。这意味着单位激活长度和体积的输出功率分别为 0.28 W/cm 和 18 W/cm^3 。

我们在上述计算的基础上设计和制造了内腔封离型派热克斯玻璃 CO_2 波导激光器。激光器的结构如图1所示。激光器的放电管半径为 0.7 mm , 长度为 13 cm , 输出端的透过率为 8% 。采用放电管、水冷管、贮气管三套管结构。采用直径为 0.8 mm 的钨阳极, 直径大约为 8 mm 的镍管阴极。

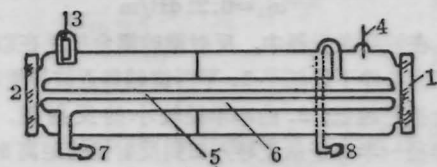


图1 CO_2 波导激光器的结构

1, 2—反射镜; 3—阴极; 4—阳极; 5—放电管; 6—水冷管; 7, 8—水入出口

三、实验结果

我们在不同气压、气体混合比情况下测量了激光器的输出功率与放电电流的关系, 结果如图2所示。

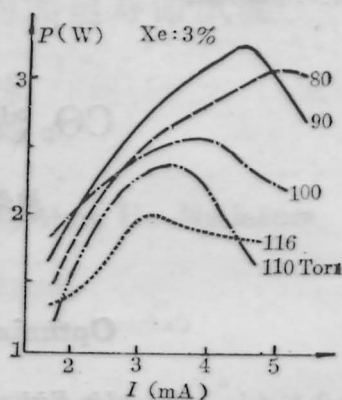


图2 输出功率与放电电流的关系
 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:3$

当气体混合比为 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:4$ 和 $1:1$ 时, 激光器的最佳气压分别为 100 Torr 和 90 Torr 。用自来水冷却, 水温为 21°C 左右。在高压直流放电条件下, 得到了 3 W 平均输出功率。

当激光器的工作气压比最佳气压高的时候, 输出功率最高时的放电电流为 $3\sim 3.5\text{ mA}$, 当气压低于最佳气压时, 最高输出功率的放电电流为 4.5 到 5 mA 。就是说, 波导激光器的总气压越高, 最佳放电电流越低。这是因为当气压较高时, 放电电流的增加使激活介质和波导管壁的温度提高, CO_2 激光下能级的去激励率和粒子数反转反而减小, 因此激

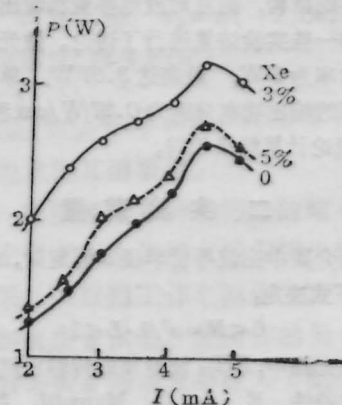


图3 输出功率与 X_1 含量的关系
 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:3(90\text{ Torr})$

光器的输出功率也减小。

激光器的输出功率随着氙气含量和气压的变化情况如图3所示。在气压变化的范围内,激光器的输出功率显著增加了。当氙气含量为3%时,它的输出功率比氙气含量为0时增加了10到30%。实验结果表明,在不同气体混合比下,氙气的最佳含量为3%左右,当气体混合比为 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:3$ 时,氙气对激光器性能改善的影响最为明显。

将传输和耦合损耗、镜片的透过率、气压混合比和氙气含量等参量最佳化,激光器的输出功率达到3.57 W(100 Torr, 4.5 mA, 11.2 kV),它的单位激活长度和体积的输出功率分别为,0.27 W/cm和17.3 W/cm³。

在 CO_2 波导激光器中,放电毛细管的冷却问题是十分重要的。我们采用派热克斯玻璃制造了波导激光器,放电毛细管用自来水冷却,水温为21°C左右,实验结果如图4所示。水冷时,激光器的输出功率增加了10%以上,而最高增加量为30%左右。这是因为放电管壁的温度越低,二氧化碳激光下能级的去激励越容易。

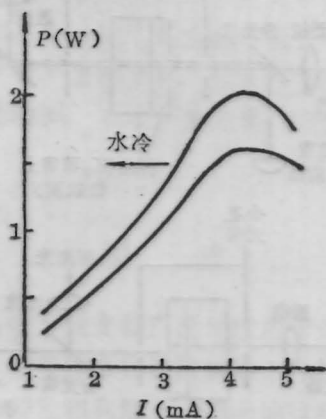


图4 放电管的冷却效果
 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:3, 60\text{ Torr}$

一般 CO_2 激光器的饱和强度随着分子-分子碰撞、电子-分子碰撞、分子的扩散而增大。气压较高时(几百 Torr),分子-分子碰撞效果起支配作用,但是气压较低时(十几 Torr 以下),电子-分子碰撞、分子的扩散效果起支配作用。我们用下式估计平均饱和强度 I_s :

$$I_s = P_0 / L\alpha W^2\alpha \quad (11)$$

式中 P_0 为激光器的输出功率, L 为毛细管长度, α 为波导激光器的小信号增益,而 W 为 $0.455a$, a 为毛细管半径。激光器的饱和强度和气压的关系如图5所示。

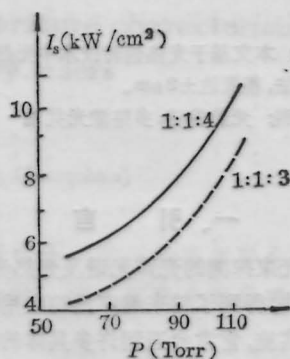


图5 饱和强度与气压的关系

参 考 文 献

- 1 E. A. J. Marcatils *et al.*, *Bell. Syst. Tech. J.*, **43**, 1783~1809 (1964)
- 2 王明常 *et al.*, *激光*, **6**(6), 55 (1979)
- 3 王明常 *et al.*, *激光*, **8** (11), 43 (1981)
- 4 W. W., Rigrod., *J. Appl. Phys.*, **36** (8), 2487 (1965)

(收稿日期:1988年7月20日)