

混合型 TEA CO₂ 激光器的实验研究

蔡英时 伊景荣 牛万青

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文描述了混合型 TEA CO₂ 激光器的三种结构,给出了五个方面的实验结果。它们是:腔长的影响;连续 CO₂ 激光功率的影响;输出能量和激光脉冲波形;选支输出和脉冲低气压 CO₂ 激光管。对所得结果做了简明的讨论。

一、引 言

在产生短激光脉冲^[1], 脉冲外差光雷达^[2] 等方面单纵模工作的 TEA CO₂ 激光器取得了良好的使用效果。因此开展了不少有关单纵模 TEA CO₂ 激光器的研究工作。为使 TEA CO₂ 激光器工作于一纵模上,目前一般采用五项措施。它们是:(1)腔内加入 F-P 标准具^[3]; (2)腔内加入各种吸收气体的吸收池^[4]; (3)增益介质由高压部分和低压部分组成的混合型单纵模器件^[5]; (4)注入锁定式器件^[6]; (5)腔长很短(约 20 cm)的 TEA CO₂ 激光器。其中混合型 TEA CO₂ 激光器最成熟,已经处于实际使用阶段。

我们为研制一台实际可用的单纵模 TEA CO₂ 激光器而进行了混合型 TEA CO₂ 激光器的研究。建立了三种结构形式,并取得了五个方面的实验结果。这五个方面是:腔长对单纵模输出稳定性的影响;连续 CO₂ 激光功率对单纵模输出的影响;输出能量和激光脉冲波形;选支的实验结果和采用脉冲放电低气压管时混合型 TEA CO₂ 激光器的工作特性。下面分别叙述器件结构,所得结果和简明的讨论。

二、实验装置

研究中采用的装置结构示于图 1、图 3 和图 4。其中紫外光预电离 TEA CO₂ 激光器各参数:放电体积为 $50 \times 4.5 \times 4.5 \text{ cm}^3$; He:CO₂:N₂ 的比分为 8:2:1; 放电电容为 $0.063 \mu\text{f}$, 放电电压为 60 kV ^[8]。连续放电 CO₂ 激光管具有水冷套和储气套,呈套管形式,套管由石英制成,管内径为 $\phi 20 \text{ mm}$, 放电长度 800 mm 。通光窗口均为布儒斯特角,窗口材料为 NaCl 和 ZnSe 两种。器件谐振腔为平凹形稳腔。凹面反射镜的曲率为 3.5 m 和 4 m 。曾在铯输出腔上加一长 40 mm , $\phi 30 \text{ mm}$ 的圆筒状 PZT 供微调腔长用。脉冲激光能量用炭斗能量计测量,连续激光能量用激光功率计测量,脉冲波形用光子牵引探测器和 SS-6200 示波器观测。

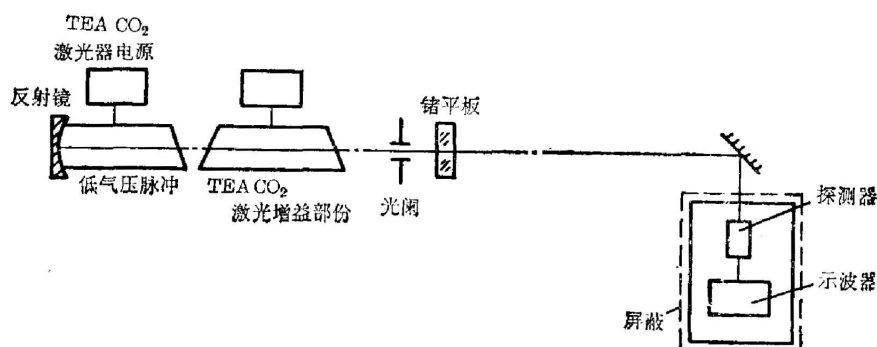


图1 混合型 TEA CO₂ 激光器装置结构图
Fig. 1 Schema of the hybrid TEA CO₂ laser

三、实验结果

1. 腔长的影响

为了使激光器在单纵模上运转,在腔内增加低气压增益部份,并使其满足条件

$$\Delta\nu_g \leq (C/2L), \quad (1)$$

式中 $\Delta\nu_g$ 为激光介质的增益带宽, C 为光速, L 为腔长,从而获得低气压部分的单纵模激光。我们选定连续 CO₂ 激光管的气压为 10 Torr, 气体比分为 H₂:CO₂:N₂=8:1:1。于是得到碰撞加宽 $\Delta\nu_c$ 、都卜勒加宽 $\Delta\nu_D$ 以及总加宽的半极大强度的全宽度 $\Delta\nu_T$ 为^[9]

$$\left. \begin{aligned} \Delta\nu_c &= 5.76 \times 10^9 [\psi_{\text{CO}_2} + 0.73\psi_{\text{N}_2} + 0.6\psi_{\text{He}}] P_0 (300/T)^{1/2}, \\ \Delta\nu_D &= 7.16 \times 10^{-7} \nu_0 (T/M)^{1/2}, \quad \Delta\nu_T = (\Delta\nu_c^2 + \Delta\nu_D^2)^{1/2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 ψ_{CO_2} 、 ψ_{N_2} 和 ψ_{He} 分别为 CO₂、N₂ 和 He 的比分, P_0 为总气压, T 为温度, M 为分子量。

根据前述实验装置的工作条件,可算得 $\Delta\nu_c \doteq 43$ MHz, $\Delta\nu_D \doteq 61$ MHz, $\Delta\nu_T \doteq 75$ MHz。对两种腔长分别为 2.2 m 和 2.7 m 的激光器,作了波形的观测。这两种不同腔长所对应的 $\Delta\nu_g$ 分别为 68 MHz 和 56 MHz,前者虽然只是接近产生单纵模的条件,但由于连续 CO₂ 激光管增益并不很大,即使两模位于 $\Delta\nu_g$ 内,因其增益相差大,因此单纵模工作仍然十分稳定。但腔长为 2.7 m 时,连续 CO₂ 激光管很容易产生两个纵模振荡,因此单纵模工作不稳定,多纵模出现率达到 30% 左右。这种多模振荡的出现常呈周期性,如 15 次单模输出后出现几次多模输出,我们认为 TEA CO₂ 激光增益部分的温度使光程发生变化,致使连续 CO₂ 激光多模工作。而在 2.2 m 腔长时,我们用 PZT 改变腔长亦未发现多模振荡,所以此时微调腔长只是微调输出频率。

2. 连续 CO₂ 激光功率的影响

用曲率半径 R 为 4 m 的凹面镜作全反射镜,输出耦合用不镀膜的锗平板。腔内三个布儒斯特角窗口都用硒化锌平板。工作电压 $V=15$ kV 时,连续 CO₂ 激光输出功率如表 1 所示。

当工作电流 I 为 1.5 mA 时,脉冲激光输出为多模振荡。当工作电流 I 升高至大于 2 mA 以后出现很稳定的单纵模运转,无多模振荡现象,这主要是它满足了单纵模振荡的条

表 1

工作电流 I (mA)	输出功率 W (W)
1.5	0
1.8	0.26
2	0.4
4	1
6	1.5

件。形成激光脉冲是自发辐射光子，它的强度是按指数律 $I = I_0 \exp\{(K/2)[t - (\tau/K)]\}^2$ 的速度上升，所以在单一模上的自发辐射光子发出的功率是很小的，约在 10^{-9} W 的量级，因此两模输出功率的比为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_{01} \exp\{(K_1/2)[t - (\gamma_1/K_1)]^2\}}{I_{02} \exp\{(K_2/2)[t - (\gamma_2/K_2)]^2\}}$$

式中，增益随时间线性上升为 Kt ， γ 为损耗系数， I_{01} 和 I_{02} 为初始两个模的强度， I_1 和 I_2 为两个模在 t 时刻的强度。

但当其中一个模为已经振荡的 0.1 W 激光，而另一个模的强度是自发辐射，其强度可用下式估计； $I_{sp} \sim (1/4) N_j A_{ji} \pi (\lambda^2 / \Delta\nu) h\nu \cdot C^{[9]}$ 约为 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ W。因此 $I_1/I_2 \sim 10^7$ 。在指数项大致相同的情况下，很小的连续激光功率就可造成单纵模振荡很大的优势。因此很小的连续激光功率便可获得稳定的单纵模工作。

3. 输出能量和激光脉冲波形

连续 CO₂ 激光管工作时，总有连续激光输出。这给测量单纵模激光能量带来了不便。我们采用快门和触发器同步来测量混合型 TEA CO₂ 激光的输出能量。测得混合型 TEA CO 激光器输出能量为 0.17 J。

用光子牵引探测器和 SS-6200 示波器拍摄了混合型 TEA CO₂ 激光器的输出激光脉冲波形，如图 2 所示。图 2(a) 为低气压增益部分不工作时的波形，图 2(b) 为低气压增益部分工作时的激光波形。测量结果表明，输出能量基本不变，激光脉冲宽度增大 4~5 倍，达 400 ns 以上，因此激光脉冲峰值功率下降 4~5 倍。

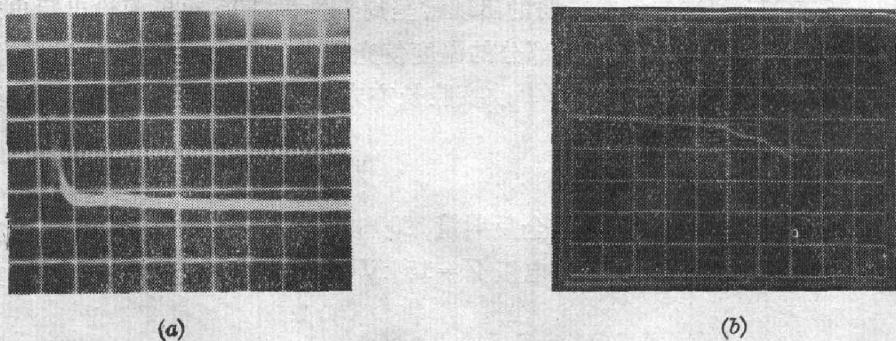


图 2 混合型 TEA CO₂ 激光示波图形 (0.1 V/div, 0.5 μs/div)

Fig. 2 Output power waveform of the hybrid TEA CO₂ laser (0.1 V/div, 0.5 μs/div)

4. 光栅选支的单纵模激光器

选支实验的器件结构如图 3 所示, 其中光栅是上海光学仪器厂生产的金属光栅 (100 lines/mm, 闪耀波长为 $10.6 \mu\text{m}$)。由于该光栅衍射效率较高 ($\sim 90\%$), 故选取 1 级振荡 1 级耦合输出, 并以凹面 ($R=350 \text{ cm}$) 锗片做为输出腔片。我们对 CO₂ 激光的 4 个带均做了选支实验, 对 35 个支线的输出作了测量, 并用 CO₂ 激光谱线分析仪鉴别支线。激光输出在 $0.15 \sim 0.05 \text{ J}$ 之间随支线而变化。

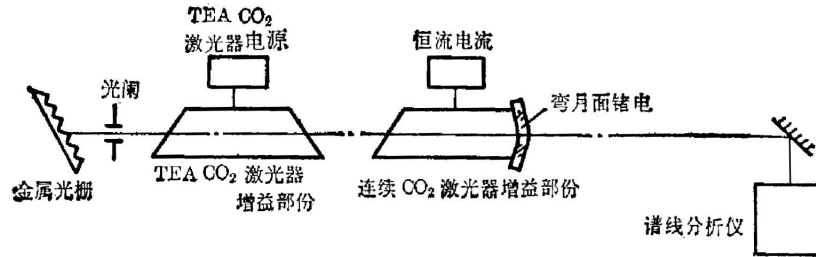


图 3 光栅选支的混合型 TEA CO₂ 激光器结构图

Fig. 3 Schematic diagram of the hybrid TEA CO₂ laser tuning with grating

5. 脉冲放电低气压 CO₂ 激光管的实验

为了使 TEA CO₂ 激光在单模下振荡, 可将连续 CO₂ 管改成脉冲放电的 CO₂ 低压管。这样的改变有许多工艺上的好处, 如不要水冷, 放电管制作大为简化, 不需要连续 CO₂ 激光电源等。我们的实验装置示于图 4。低气压脉冲放电管的参数为: 长为 100 cm , 内径 20 mm , 充气压力 10 Torr , He:N₂:CO₂=8:1:1, 放电电容为 $0.01 \mu\text{f}$, 电压为 18 kV 。低压部分放电与 TEA 部分放电应有一时间延迟。低气压放电管的放电电流脉冲宽度约为 $5 \mu\text{s}$ 。因为放电激发 CO₂ 分子时主要靠下能级的弛豫达到粒子数反转, 在 10 Torr 时粒子数反转的时间大约为 $40 \mu\text{s}$, 另外, 还要有一个激光振荡稳定的时间, 因此取延迟时间为 $60 \mu\text{s}$ 。在上述条件下得到了稳定的单纵模振荡, 其输出达到 0.2 J 。

在上述实验的基础上, 我们建立了一台稳定实用的混合型单纵模 TEA CO₂ 激光器, 其典型输出能量为 0.2 J , 可每秒一次工作。我们将它作为大功率 CO₂ 激光振荡器, 已能使激光触发火花隙稳定的工作。应当指出, 高功率脉冲激光会使连续 CO₂ 管饱和, 恢复其稳定输出的过渡时间为 1 ns ^[5, 7], 因此重复脉冲的频率将受到限制, 此类器件重复频率的上限约为

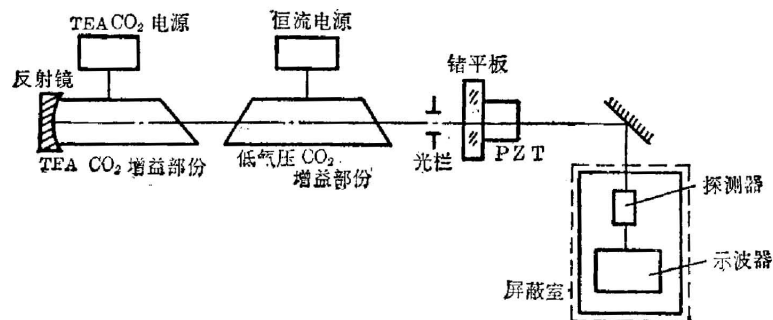


图 4 脉冲放电低气压 CO₂ 管构成的混合型 TEA CO₂ 激光器

Fig. 4 Schematic diagram of the hybrid TEA CO₂ laser with low pressure pulses discharge tube

500 Hz。

参 考 文 献

- [1] J. F. Figuira, A. V. Nowak; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 3 (Feb), 420.
- [2] J. M. Cruicksank; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 3 (Feb), 290.
- [3] J. A. Weiss, L. S. Goldberg; *IEEE. J. Q. E.*, 1972, **QE-8**, No. 9 (Sep), 757,
- [4] R. A. Pougat; *Rev. Sci. Instrum.*, 1982, **52**, No. 2 (Feb), 181.
- [5] Paul W. Pace James, M. Cruicksank; *IEEE, J. Q. E.*, 1980, **QE-16** No. 9 (Sep), 937.
- [6] Uri Phillip Oppenheim, Robert T. Menzies *et al.*; *IEEE, J. Q. E.*, 1982, **QE-18**, No. 9 (Sep), 1332.
- [7] R. C. Hollins; *J. Phys. D; Appl. Phys.* 1982, **15**, No. 10 (Oct), 1881.
- [8] 蔡英时等;《激光》1979, **6**, No. 2 (Feb), 22.
- [9] E. R. Pike; *«High-Power gas Laser»*, (The Institute of Physics Bristol and London 1975), 54.
R. Loudon; *«The quantum theory of light»*, (Clarendon press Oxford 1978), 90.

Experimental study of a hybrid TEA CO₂ laser

CAI YINGSHI YI JINGRONG AND NIU WANGING

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

(Received 25 May 1983, revised 16 August 1983)

Abstract

Three schemas of a hybrid TEA CO₂ laser are described. Five experimental results are given, which are the effect of the cavity length, the effect of the CW CO₂ laser power, the output energy and laser pulse oscillogram, selected branch and pulsed discharge low pressure CO₂ laser tube. All of the results are discussed.