

# 非稳腔注入锁定 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的实验研究

徐华乐 伊景荣 蔡英时

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文描述一台 1m 长增益介质的非稳腔注入锁定 TEA CO<sub>2</sub> 激光器。不需微调腔长便可获得单纵模运转。在某些条件下两激光器振荡支线不一致也可产生单纵模输出。

## Experimental study of unstable cavity injection mode-locked TEM-CO<sub>2</sub> laser

Xu Huale, Yi Jingrong, Cai Yingshi

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

**Abstract:** An unstable cavity injection mode-locked TEA-CO<sub>2</sub> laser with 1 m long gain medium is described. It can operate in single longitudinal mode without adjusting cavity length. Under some conditions injection mode-locking happens even two lasers individually oscillate in different branches

### 一、引言

可用许多方法获得 TEA CO<sub>2</sub> 激光器单纵模运转<sup>[1]</sup>, 其中注入锁定技术<sup>[2]</sup>——把外界单纵模连续 CO<sub>2</sub> 辐射引进 TEA CO<sub>2</sub> 振荡器进行模式锁定, 能获得大能量高功率单纵模脉冲, 很容易得到峰值功率为 MW 量级、能量为几个焦耳的光脉冲<sup>[2]</sup>; 能使输出光脉冲频率连续可调, 如果把频率连续可调的 CO<sub>2</sub> 波导激光器作为注入激光器, 便可以在波导激光器频率调节范围内实现频率可调<sup>[3]</sup>。

本文从实验上研究了在连续光注入的情况下 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的运转特性, 同时对实验结果进行讨论。

### 二、实验装置

实验装置如图 1。全外腔式紫外光预电离 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的放电体积为 100×4.0×4.0cm<sup>3</sup>, 激活区两端用倾斜 5° 的 KCl 窗口密封。工作气体比例为 He:CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=8:2:1, 气压为 660 Torr; 增益线宽约为 3.8GHz。

收稿日期: 1985 年 7 月 23 日。

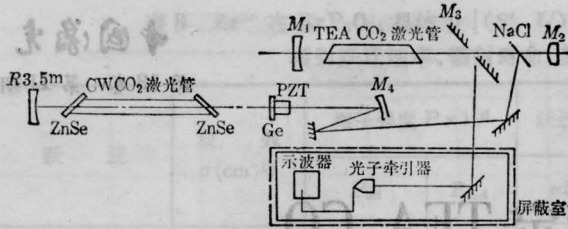


图1 研究注入锁定特性的实验装置

储能电容总容量  $0.126 \mu\text{F}$ , 放电电压  $60 \text{ kV}$ 。 $M_1$  为曲率半径  $R10 \text{ m}$ , 使用孔径  $\phi 35 \text{ mm}$  的凹面全反射镜,  $M_2$  为曲率半径  $R5 \text{ m}$  的全反凸镜, 孔径为  $\phi 28 \text{ mm}$ 。总腔长  $2.5 \text{ m}$ , 对应的纵模间隔为  $60 \text{ MHz}$ 。 $M_3$  为输出耦合全反镜, 其斜孔直径  $\phi 8 \text{ mm}$ 。TEA  $\text{CO}_2$  腔中的 NaCl 平板或 Ge 片为注入耦合片, 它与光轴的夹角接近  $45^\circ$ 。用炭斗能量计测得 TEA  $\text{CO}_2$  激光器的输出能量为  $400 \text{ mJ}$ , 输出光斑为环形。输出激光脉冲波形用光子牵引探测器和宽带示波器观测。TEA  $\text{CO}_2$  器件的振荡支链用  $\text{CO}_2$  谱线分析仪监视, 一般情况下出现  $10 P(20)$  线。

注入激光器为连续  $\text{CO}_2$  激光器, 总腔长  $2.23 \text{ m}$ 。调节放电电流可连续改变输出功率, 输出功率可调范围为  $0 \sim 800 \text{ mW}$ 。连续光输出光路上凹镜的作用是匹配两个独立激光器的空间模, 其曲率半径为  $R5 \text{ m}$ 。

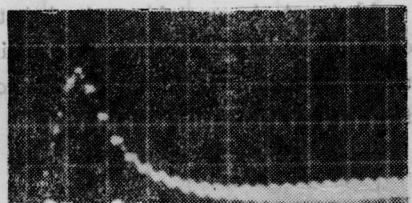
### 三、实验结果与初步讨论

图2为注入锁定 TEA  $\text{CO}_2$  激光器的输出脉冲波形, 其中(a)表示不存在注入光时普通 TEA  $\text{CO}_2$  激光器的典型输出脉冲。可以看到, 此情况下输出脉冲存在无规的拍, 拍频约为  $60 \text{ MHz}$ , 和相邻纵模的频率差 ( $\Delta\nu = c/(2L)$ ) 接近。图2(b)和2(c)为存在注入光的情况下所得到的脉冲波形。(b)图中脉冲包络还稍微存在调制, 调制频率也约为  $60 \text{ MHz}$ 。这现象显示了多个纵模拍的结果, 但其中一个纵模的振幅远大于其它纵模的振幅。从

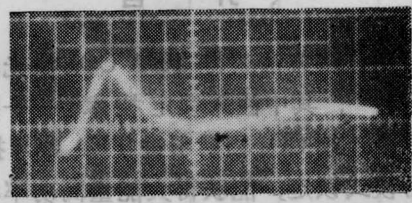
图2(b)还可以发现, 随着时间的发展, 调制越来越严重, 这说明某些自发振荡模比被选择模(它的频率等于或接近连续  $\text{CO}_2$  激光器的输出频率)具有更大的增益。由此可知, 靠近增益曲线中心的注入锁定较容易实现。仔细调节连续管输出端上的 PZT 压电陶瓷, 得到如图2(c)所示的脉冲波形。这就是单纵模输出。在我们的实验中, 不微调 PZT, 激光器单纵模运转的几率为  $60\%$ 。也就是说, 对于我们的实验装置, 并不要求严格调节腔长, 使两个独立激光器间的纵模匹配, 也能获得单纵模。注入功率密度在  $3.6 \sim 16 \text{ mW/cm}^2$  之间变化, 实验中观察到锁定单纵模的峰值功率随着注入功率密度的提高而减小。原因是由于注入光增大, 使光脉冲在增



(a)



(b)



(c)

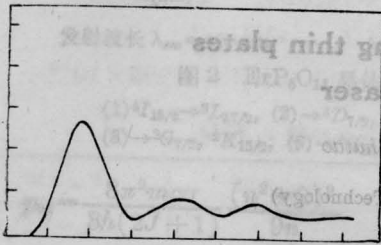
图2

(a) 无注入光时激光器的输出脉冲波形 ( $50 \text{ ns/div}$ ,  $100 \text{ mV/div}$ );

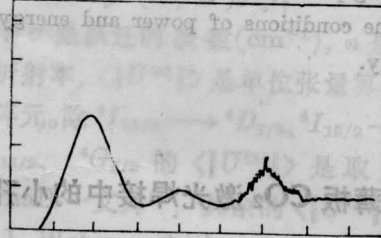
(b)、(c) 注入光强为  $10 \text{ mW/cm}^2$  时激光器的输出脉冲波形 ( $50 \text{ ns/div}$ ,  $100 \text{ mV/div}$ )

益  $Q$  开关还没有达到最大的时候就产生, 破坏了增益  $Q$  开关的作用。在阈值附近, 即注入到 TEA  $\text{CO}_2$  腔内的功率密度为  $0.8 \text{ mW/cm}^2$  时, TEA  $\text{CO}_2$  锁模单纵模运转不稳定。由上面讨论可知, 进行注入锁定实验时, 需要调和增益  $Q$  开关作用与单纵模运转稳定性之间的矛盾。我们用  $10 \text{ mW/cm}^2$  的注入功率密度得到了可靠的、峰值功率较高的单纵模运转。但在几种情况下输出脉冲的能量保持不变, 均匀  $400 \text{ mJ}$ 。

为了能改变注入光的频率, 我们使用选支注入激光器, 它可选择任一条支线振荡, 最大输出功率为  $500 \text{ mW}$ 。注入选支实验要求更高的注入光强, 达到此目的是利用错楔代替



(a)



(b)

图3 TEA  $\text{CO}_2$  激光器自由振荡在  $P(20)$ , 而注入光为  $P(18)$  时的输出脉冲波形  
( $50 \text{ ns/div}$ ,  $100 \text{ mV/div}$ )

NaCl 平板作为 TEA  $\text{CO}_2$  腔中的注入耦合片。用错楔而不用错平板的原因是为了避免错平板的干涉效应。

实验时, 使 TEA  $\text{CO}_2$  激光器稳定在  $10P(20)$  支线上振荡, 在注入光强为  $90 \text{ mW/cm}^2$  的水平下, 得到了在  $10P(16)$ 、 $10P(18)$ 、 $10P(22)$ 、 $10P(24)$  支线上振荡的单纵模脉冲, 脉冲波形如图 2(c)。但在选支实验中, 除了观察到图 2(c) 所示的脉冲波形外, 还出现如图 3 所示的脉冲波形。图 3(a) 中主脉冲后沿出现几个次脉冲。有人<sup>[4]</sup>认为这是存在高阶横模所引起的。

图 3(b) 中出现另一种现象, 在激光脉冲的尾部出现没有锁定的无规拍, 拍频约为  $60 \text{ MHz}$ 。用  $\text{CO}_2$  谱线分析仪观察到在此情况下存在双线振荡, 一条为注入光束的振荡支线, 另一条为  $10P(20)$  线。很显然, 脉冲尾部没有锁定的小尖峰是  $10P(20)$  支线起振的结果, 它包含许多纵模。因此, 和非选支实验一样, 随时间的发展, 对高增益支线的起振越来越有利, 而对那些增益较小的支线进行选支实验就较困难, 它需要更大的注入光强。

最后, 对牛万青、胡企铨同志在实验中给予的帮助表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] S L. Chin; *Opt. & Laser Technol.*, 1980, **12**, No. 1, 85.
- [2] J. L. Lachamber; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976, **QE-12**, No. 12, 756.
- [3] G. Megie, R. T. Menzies; *Appl. Phys. Lett.* 1979, **35**, 835.
- [4] William; *Opt. Commun.*, 1972, **5**, No. 2, 236.