

双电极对双脉冲激光器结构分析

李湘银 施振邦 孙 宁

(华东工学院应用物理系, 南京 210014)

提 要

本文对双电极对双脉冲激光器的谐振腔结构进行了分析, 结果表明采用双非稳腔和增大反射镜的曲率半径可分别获得单纵模和基横模输出。为使输出能量稳定, 则双电极对的间距有一最小值的限制。

关键词: 双脉冲; TEA CO₂ 激光器; 气体激光器; 谐振腔; 选模。

一、引 言

双脉冲 TEA CO₂ 激光器具有增益高、输出能量大, 特别是在不需要高真空的条件下可获得时间间隔极短(μs 量级)的两个高强度光脉冲, 因此它具有广阔的应用前景^[1]。在这些应用中经常会遇到要求激光器具有能量稳定的单模输出以及双脉冲时间间隔稳定且连续可调。对于后者可以在双脉冲控制电路的结构中插入门电路获得解决^[2]。而对于前者, 往往要通过合理的设计激光器谐振腔的结构来加以解决。本文拟从结构上对如何获得输出能量稳定的单模作一探讨。

二、激光器结构设计特点

本文所提出的双电极对双脉冲 TEA CO₂ 激光器是属于共腔式结构。这种器件可获得时间间隔从零开始连续可调的一对光脉冲, 其结构如图 1 所示。器件的谐振腔是由锗平镜和曲率半径 $R \geq 20 \text{ m}$ 的镀金凹面镜组成的平凹腔。每对电极由两个支架组装成一个整体。两对电极的四个支架必须同时加工, 以确保两组电极同轴。一对反射镜固定于端盖上, 端盖通过密封圈与壳体连接。这种结构极有利于装调、清洁处理, 也有利于气体组分对输出能量、光脉冲宽度和器件寿命的影响的研究。

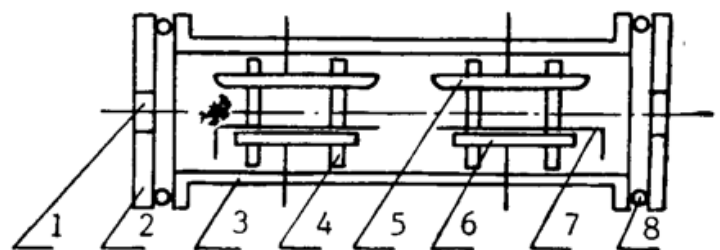


Fig. 1 Configuration of double-pulsed laser with two pairs of electrodes

1. Reflector 100%; 2. End cover; 3. shell; 4. Frame;
5. Anode; 6. Cathode; 7. Preionization; 8. Seal;
9. Output mirror.

双脉冲器件要使其获得稳定的能量输出, 其设计关键在于两组电极之间要有一定的间

距。间距的大小由三个因素决定。(1)谐振腔中介质的扰动的传播速度；(2)器件的双脉冲时间间隔*；(3)器件结构的合理性和调试的简易。由于电极在脉冲放电期间能量的快速释放引起气体介质的扰动(绝热膨胀),从而产生冲击波,这种冲击波的传播速度为

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}, \quad (1)$$

式中 γ 为气体定压克分子比热与定容克分子比热之比, R 为混合气体常数, T 为气体温度(K), μ 为气体的克分子质量。由(1)式可知介质扰动的传播速度与气体介质的温度有关,而温度又与输入能量有关。因此要精确计算这个速度是困难的。根据 Roper 等人的研究^[3],在 CO_2 激光器中其传播速度约为 450 m/s 左右。根据此值就可估算出两组电极的最小间距。对于本实验的器件,考虑到两个光脉冲的时间间隔最大值为 $150 \mu\text{s}$, 因此间距的最小值约为 7 cm。当然,从减小第一组电极放电所产生的介质扰动对第二放电区的介质均匀性的影响来看增加间距是有利的。但这必然会增加腔长,给器件的精确调试增加困难。

三、单纵模的选择

为获得单纵模光脉冲输出,可采用改变腔长 L 和增大腔内损耗的方法来实现^[4]。前者只要满足:

$$\frac{c}{2nL} > \Delta\nu_F, \quad (2)$$

式中 L 为腔长, n 为介质折射率, c 为光速。使之在有效增益曲线内只有一个纵模振荡。后者是调节损耗使在有效增益曲线内只有一个纵模满足振荡条件。但是在双脉冲 TEA CO_2 激光器中由于二组电极共分一个谐振腔,为使器件获得足够的能量输出必须要加大腔长。为此在这种器件中利用短腔法来选择纵模是无法实现的。考虑到这种结构上的特殊性,采用复合腔选取纵模比较适宜。其结构如图 2 所示。

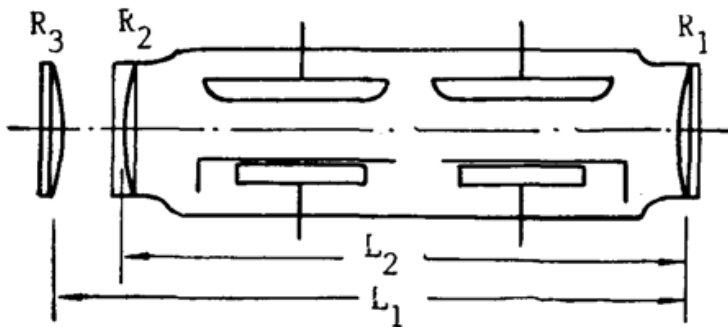


Fig. 2 Double unstable-resonator

前者是调节损耗使在有效增益曲线内只有一个纵模满足振荡条件。但是在双脉冲 TEA CO_2 激光器中由于二组电极共分一个谐振腔,为使器件获得足够的能量输出必须要加大腔长。为此在这种器件中利用短腔法来选择纵模是无法实现的。考虑到这种结构上的特殊性,采用复合腔选取纵模比较适宜。其结构如图 2 所示。

R_1R_3 为凸面镜, R_2 为凹面镜。由 R_1R_2 组成凹凸腔, R_1R_3 组成双凸腔。根据谐振腔理论可知:在有二个子腔的谐振腔中同时能存在的纵模振荡频率为

$$\nu_1 = \frac{c}{2nL_1} q_i = \frac{c}{2nL_2} q'_i. \quad (3)$$

若第一个子腔经过 N 个频率间隔后与第二个子腔经过 $N+1$ 频率间隔后的频率再次相等即:

$$\nu_2 = \frac{c}{2nL_1} (q_i + N) = \frac{c}{2nL_2} (q'_i + N + 1), \quad (4)$$

ν_1, ν_2 为同时存在于复合腔内的两个相邻的频率,其间隔为

* 在可调的情况下,指时间间隔的最大值。

$$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1 = \frac{c}{2n(L_2 - L_1)} \quad (5)$$

因此通过调节两反射镜 R_2 、 R_3 的相对位置即改变 L_2 、 L_1 值使 $L_2 - L_1$ 值足够小, 这样就可满足 $\Delta\nu > \Delta\nu_F$, 从而使器件获得单纵模运转。如图 3 所示。

双非稳腔选纵模的优点在于在 TEA CO_2 激光器的高增益介质中可以获得大的模体积, 从而能获得大的功率输出, 而且抑制高阶模的能力强, 有利于横模的选择。

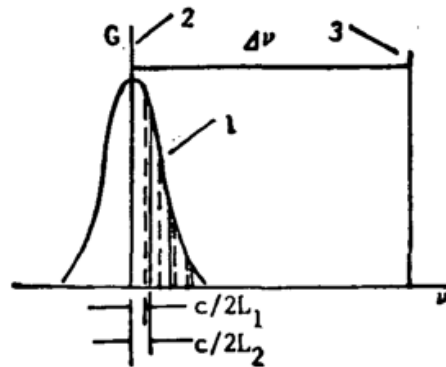


Fig. 3 Gain-longitudinal mode relation in double unstable resonator

1. medium gain curve;
2. First coincide of two longitudinal modes;
3. Second coincide of two longitudinal modes

四、双电极对间距的选择

双脉冲 TEA CO_2 激光器两组电极之间间距的选择与激光器的基横模选择和输出能量的稳定性有密切的关系。这是由于双脉冲器件工作较之单脉冲器件更容易产生介质气体的扰动, 使放电区出现显著的不稳定性。造成这种不稳定性的因素除了由于输入到器件的能量的大部分使气体介质加热、膨胀造成介质紊乱而引起分布不均匀外, 还在于在双脉冲器件中因第一组电极的放电所产生的激光进入第二放电区形成激光诱导介质扰动^[3], 使后一电极放电区中的介质引起不均匀分布而使相位面发生畸变, 从而加剧了激光束的抖动和漂移。这样, 不但使惯用的小孔选模在双脉冲器件中难于取得理想效果而且还因为激光诱导介质扰动效应使激光束波面产生相位畸变而模式变坏, 增加了选模的复杂性和输出能量的稳定。而且这种激光束的抖动和漂移具有一定的随机性, 它与器件输入能量的大小有关。因此, 在双脉冲 TEA CO_2 激光器中, 由于腔长 L 较大, 在镜面处的光斑半径较小, 不适宜采用小孔选模。为此, 采用增大凹面镜的曲率半径 R 使之满足 $R \gg L$ (在 $L = 1 \text{ m}$ 时采用 $R > 20 \text{ m}$) 则就可以获得基模输出。同时, 为了减小因放电而形成的冲击波对后一放电区的影响, 必须仔细的、合理的安置二组电极的间距。根据冲击波的传播速度和要求的双脉冲最大时间间隔, 可以决定两组电极的最小间距。考虑到器件结构的合理性和冲击波传播过程中的衰减, 本实验在器件中采用 7 cm 的间距是合适的。[器件外壳为 $\phi 10 \times 100 \text{ cm}^2$, 二个放电区均为 $35 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$] 如果间距小于 7 cm , 则在实验中明显地发现在第二个放电区有较大的孤光放电几率, 输出能量极小(从示波器上观察到第二个光脉冲显著减小)。而采用 $\geq 7 \text{ cm}$ 间距后输出能量的稳定性得到明显的改善。

Table 1

date		5.5 morning	5.5 afternoon	5.4
pulses A+B	number	19	19	12
	$\bar{E}_{out}(J)$	0.452	0.471	0.493
	$S(J)$	0.011	0.013	0.009
	$\bar{E} \pm S(J)$	0.452 ± 0.011	0.471 ± 0.013	0.493 ± 0.009
pulse A	number	19	18	10
	$\bar{E}_{out}(J)$	0.163	0.157	0.174
	$S(J)$	0.003	0.003	0.002
	$\bar{E} \pm S(J)$	0.163 ± 0.003	0.157 ± 0.003	0.174 ± 0.002
pulse B	number	19	19	10
	$\bar{E}_{out}(J)$	0.226	0.207	0.227
	$S(J)$	0.009	0.005	0.005
	$\bar{E} \pm S(J)$	0.226 ± 0.009	0.207 ± 0.005	0.227 ± 0.005

S : standard deviation,

实验条件: $P_{CO_2} + P_{N_2} = 280 \text{ torr}$, $P_{CO_2} : P_{N_2} = 1:1$, 工作电压 $U = 19 \text{ kV}$ 下连续测试二组各为 60 个数据, 其结果如表 1 所列。由表 1 可见, 在双脉冲 TEA CO_2 激光器中由于间距合适, 因此输出能量是稳定的。

五、结 束 语

由于双脉冲器件的共振腔较单脉冲器件的共振腔来说显著地加长, 而且两个放电区由于放电而引起的相互影响增加了气体介质的扰动使激光束发生抖动和漂移, 这就增加了选模的复杂性。经过分析认为, 对纵模的选择可采用双非稳腔结构, 而对于基横模的选择可采用增加反射镜的曲率半径以增加高阶模的损耗来实现。同时, 为增加能量输出的稳定性, 腔内二对电极的间距必须设计恰当。其值可根据腔内声波传播的速度和双脉冲最大的时间间隔的要求来进行计算。这些措施均被实验所证实。

参 考 文 献

- [1] Taya Fax; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **37**, No. 2 (Jun), 590~592.
- [2] 李相银等;《光学学报》, 1990, **10**, No. 2 (Feb), 168~173.
- [3] V. G. Roper *et al.*; *Opt. Commun.*, 1978, **25**, No. 2 (May), 235~237.
- [4] 伍长征等;《激光物理学》, (复旦大学出版社, 上海, 1989), 128.

Configuration analysis of double-pulsed laser with two pairs of electrodes

LI XIANGYIN, SHI ZHENBANG AND SUN NING

(Department of Applied Physics, East China Institute of Technology, Nanjing 210014)

(Received 12, September 1990; revised 21, November 1990)

Abstract

The construction of double-pulsed TEA CO₂ laser cavity with two pairs of electrodes is analysed in this paper. The result shows that uni-longitudinal mode can be obtained by double unstable resonators or TEM₀₀ mode can be obtained by enlarging the curatmre radius of reflector. To stabilize the output energy, the distance between two pairs of electrodes is limited by a minimum.

Key words: double pulse; TEA CO₂ laser; gas laser; resonator.