

# 光栅选频单纵模 35 MW TEACO<sub>2</sub> 激光系统

林太基 金春植 李殿军 杨从斌 吴序华 祝有信

(中国科学院长春光机所)

**提要:** 本文报道了光栅调频单纵模 TEACO<sub>2</sub> 激光系统, 它由混合型 TEACO<sub>2</sub> 振荡器和二台 TEACO<sub>2</sub> 放大器组成, 得到脉冲输出能量 4.2J, 脉宽 120ns, 功率 35 MW, 可调谱线 81 条。

## A single longitudinal mode 35 MW TEA CO<sub>2</sub> laser system tuned with grating

*Lin Taiji, Jin Chunzhi, Li Dianjun, Yang Congbin, Wu Xuhua, Zhu Youxin*  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** A single longitudinal mode 35MW TEA CO<sub>2</sub> laser system tuned with grating has been established. It consists of a hybrid TEA CO<sub>2</sub> oscillator and two TEA CO<sub>2</sub> amplifiers, output pulse energy of 4.2J in a 120 ns pulse length, output power of 35MW and 81 tunable spectral lines have been obtained.

激光化学和激光同物质相互作用以及光雷达等许多研究工作要求谱线可调、单一频率和较高功率的激光。我们研制了一台用混合型 TEACO<sub>2</sub> 激光器, 由单纵模振荡级和二级 TEACO<sub>2</sub> 放大器组成, 用光栅调频。研究了它的单纵模特性、选频特性、小信号增益、饱和增益、光束质量等。试验用一个马克斯发生器并联激励二台 TEACO<sub>2</sub> 放大器 and 用二个马克斯发生器分别激励 TEACO<sub>2</sub> 放大器。获得了最大单纵模输出功率为 35 MW; 可调谱线在 9.16 至 10.84 μm 范围有 81 条; 重复率为 1 次/s、0.5 次/s; 光束质量良好; 性能稳定可靠。

## 系统的设计

### 1. 单纵模的获得

TEACO<sub>2</sub> 的增益带宽较宽, 约为 3~4 GHz, 故 TEACO<sub>2</sub> 激光器输出常为多纵模振荡。要得到单纵模振荡需要采取一定的措施, 一般的方法有: 混合型<sup>[1]</sup>; 注入锁定<sup>[2]</sup>; 腔内加标准具<sup>[3]</sup> 和腔内饱和吸收池<sup>[4]</sup> 四种。前二种方法在技术上有共同之处, 优点也较多可获输出谱线可调的激光, 因标准具材料在高能量密度时易损坏, 故每个脉冲单纵模输

收稿日期: 1984 年 11 月 21 日。

出能量只能小于 1 J。又因标准具角度出现很小变化就会引起振荡模频移，故调节机构精度要求高。内腔饱和吸收池法的局限性是谱线不可调谐。于是我们采用混合型方法。

## 2. 选频方式

激光器的选频有用棱镜、法-珀标准具、光栅等方法。棱镜要用几块组合，给调整带来不便，材料也易潮解，所以采用光栅选频。

为了保证只存在一级衍射和 0 级，而不出现其他衍射级，对 CO<sub>2</sub> 激光，定向在 10.2 μm 的光栅应选用 100 线/mm 左右。由于 TEACO<sub>2</sub> 激光器的功率密度较高，约 20~30 MW/cm<sup>2</sup>，所以必须采用原刻光栅，基底用铜。

激光耦合输出有二种方式：一级衍射振荡，输出窗耦合输出；一级衍射振荡，0 级耦合输出。前一种方式，部分反射的镜输出窗也是附加选频元件，故需一面镀增透膜，一面镀最佳反射膜。为了体腔工作稳定，镜窗口还需加工成球面。0 级输出要求光栅刻制时一级衍射达到最佳反射。调频时输出光束方向改变的问题可通过加一附加反射镜来弥补。0 级输出的效率也较高。

## 3. 放大系统

由激光的放大理论得到激光脉冲的放大能量可由下式给出<sup>[5]</sup>：

$$E_0 = E_s \ln \{ 1 + \exp(\alpha_0 L) [\exp(E_i/E_s) - 1] \} \quad (1)$$

$E_0$ 、 $E_i$  分别为单位面积的输出和输入能量； $\alpha_0$  为小信号增益； $L$  为放大器长度； $E_s$  为饱和增益。

在不同条件下的饱和增益可由计算得到<sup>[6]</sup>：

$$E_s = \frac{h\nu}{2\sigma_{ul} f} = \frac{2\pi^2 h\nu \Delta\nu_H}{\lambda^2 A_{ul} f} \quad (2)$$

式中  $\sigma_{ul}$ ——受激辐射截面；  
 $f$ ——玻尔兹曼分布因子；  
 $A_{ul}$ ——跃迁几率；  
 $\Delta\nu_H$ ——线宽；

在 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He<sub>2</sub> = 1:1:5、总气压 700 Torr，气体温度 400 K 时， $\sigma_{ul} = 1 \times 10^{-18}$  cm<sup>2</sup>，

$$f = \frac{1}{14} \text{ (对 } J=19 \text{)}。 \text{ 利用公式 (2) 得到 } E_s =$$

140 mJ/cm<sup>2</sup>。振荡级单纵模能量约 200 mJ，要提高到 3 J 以上的输出则需放大十五倍。如用光束单次通过二级放大系统或光束多次通过单级放大器，提取的能量不足并且还发生光束发散问题，这些限制可通过加上望远镜系统来解决。第一级放大用离轴卡塞格伦望远镜系统，扩束三倍，且光路在放大器内折叠通过，二级放大时则单次通过。由 (1) 式可对逐条光路计算放大后得到的能量，当放大器输入能量密度

$$E_i = 400 \text{ mJ/cm}^2, \alpha_0 = 0.03 \text{ cm}^{-1},$$

则经上述系统放大后总能量达到 2.5 J。因理论估算的公式没有把脉冲期间直接的电泵浦和 N<sub>2</sub> 的受激态使 00<sup>0</sup>1 能级再聚集等因素考虑在内，实际的饱和增益还要高，故放大后总的输出能量也会比估计的明显大。

由于二级放大系统的增益较高，在系统的光路中还需考虑防止产生自激振荡。

## 实验装置

实验装置如图 1 所示。

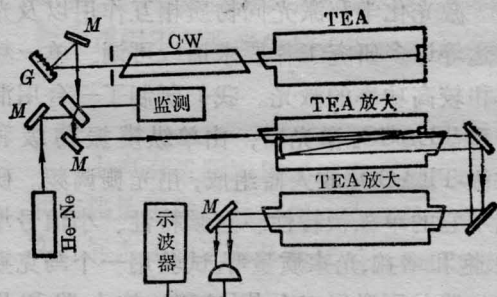


图 1 光栅选频单纵模 TEACO<sub>2</sub> 激光系统

紫外预电离的 TEACO<sub>2</sub> 激光器，罗可夫斯基电极，放电体积为 4×7×60 cm<sup>3</sup>，激励电源用二级马克斯发生器激发。与 TEACO<sub>2</sub> 放电管固定在同一光学腔中的连续 CO<sub>2</sub> 增益

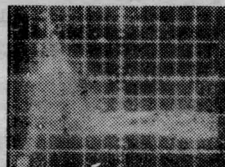
管放电长度 75 cm, 直径 11 mm; 气压 8 Torr;  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8$ 。增益管两端用氯化钠布儒斯特窗, 光学谐振腔由  $R=8\text{ m}$  镀金全反镜和原刻金属光栅组成, 在光栅一端加一  $\phi 7$  光阑。以上激光器构成振荡级, 其腔间距为 2.3 m, 相当于纵模间隔约 65 MHz。

TEACO<sub>2</sub> 激光放大器与振荡级的 TEACO<sub>2</sub> 装置相同, 只是放大器两端用氯化钠布儒斯特窗, 离轴卡塞格伦扩束系统放置于第一级放大器腔内, 有微调机构进行扩束系统的调正。在测量饱和增益时, 此系统可以改成为二个平面镜系统。氦-氛激光作为指示光束, 调光时用。二个放大器可分别采用通常的单独激励方式和并联激励方式。并联激励即用一台高压电源配上马克斯发生器及脉冲触发器组成的电路同时并联泵浦二台放大器。振荡级和放大级之间用多路触发的脉冲触发器达到延迟触发。延迟时间调节范围为  $0\sim 2\ \mu\text{s}$ 。

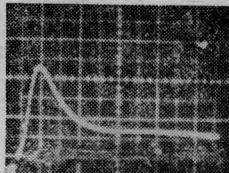
## 实验结果

### 1. 单纵模特性

用光子牵引器和存贮示波器测量混合型选频 TEACO<sub>2</sub> 激光器输出波形, 内腔低压增益管不工作时, 激光波形是一个有约 160 ns 强峰, 后随幅度小得多的  $1\ \mu\text{s}$  尾巴的波形。如图 2(a), 包络是高频调制波形, 此为不同



(a) 增益管不工作时



(b) 增益管在低于阈值工作时, 工作电流 5 mA

图 2 混合型激光器波形

纵模的拍频信号。当连续增益管工作在阈值条件下时, 脉冲波形即变成很光滑的单纵模波形。在  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  为 1:1:8, 总气压 600 Torr, 放电电压 60 kV 时, 输出能量强线为 200 mJ; 脉宽 160 ns; 发散角为 2.2 mrad, 重复率为 1 次/s、0.5 次/s。

### 2. 选频特性

本所刻制的铜光栅经测试性能为: 一级衍射效率 71%; 0 级 26%; 闪烁波长为  $10.2\ \mu\text{m}$ 。

在  $\text{CO}_2$  的  $00^01-10^00$  带选出  $10P(4)-10P(42)$  及  $10R(2)-10R(40)$  39 条谱线,  $00^01-02^00$  带选出  $9R(2)-9R(42)$  和  $9P(4)-9P(44)$  42 条, 总共为 81 条谱线, 强线的能量约 200 mJ, 弱线约 30 mJ, 谱线如图 3 所示, 是由  $\text{CO}_2$  谱线分析仪和能量计同时监测所得。

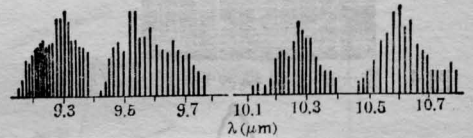


图 3 选频单纵模激光系统输出谱线

### 3. 放大特性

#### (a) 小信号增益和饱和增益

用振荡级作为输入光束, 经充分衰减后直接引入第二台放大器, 在  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  为 1:1:5; 电压 700 Torr; 放电电压 82 kV 时测得小信号增益为  $0.029\ \text{cm}^{-1}$  [对  $10P(18)$ ]。

当  $E_i/E_s \gg 1$  由 (1) 式可得到:

$$E_0 \simeq E_i + E_s \alpha_0 L \quad (3)$$

用振荡级光束经一级放大后作为输入光束, 测量第二级放大器的饱和增益系数。利用 (3) 式得到饱和增益  $E_s = 210\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ , 可见实验值要比理论估算的大。

#### (b) 放大的单纵模输出能量

在二台放大器单独由各自的马克斯发生器激励和并联激励时, 得到的单纵模输出能量结果分别列于表 1。为使并联激励的二个放大器正常运转, 需仔细地把它们的参量调



表 1

激励方式	储能电容 ( $\mu\text{F}$ )	气压 (Torr)	混合比	电压 (kV)	输出能量 (J)
并联	0.05	700	1:1:5	90	2.2
并联	0.1	700	1:1:5	82	3.6
单独	0.1	700	1:1:5	82	4.2

得相同,使其同时放电。反之,二台放大级的电参量不一样,会造成放电有先后,运转则不正常。

(c) 激光放大的波形与脉宽

激光脉冲通过放大器之后的波形与激光的前沿随时间的变化规律有直接关系,高斯型脉冲前沿按高斯函数  $\exp(-t^2/\tau^2)$  变化,经放大后,脉宽可以得到压缩(压缩到120ns)。

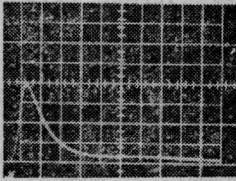


图 4 放大的单纵模波形(100 ns/小格)

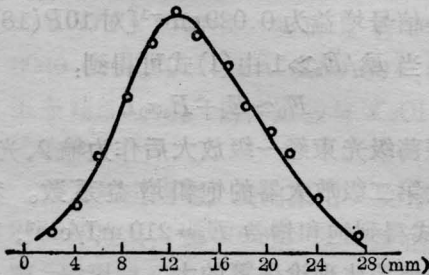
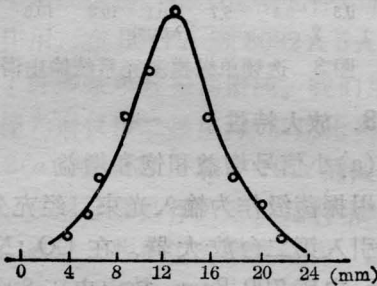


图 5 振荡级(上)和放大级(下)光斑强度分布

波形如图 4。

(d) 光束质量

用自制的列阵型接收器,30位,间隔为0.5 mm,对振荡级和放大级的输出光斑强度分布进行测量,得到的远场光斑为高斯型,见图 5。

讨 论

二种激励方式所得到的最终能量相差不大,并联激励时总能量虽然稍低一些,但它也有其特点,可以省去一台高压电源和马克斯发生器及脉冲触发器。显然,如在并联激励的放大器后面再加一级 TEACO<sub>2</sub> 放大,则就可以获得更大的能量,装置也不过于庞大。

已有报道的同类系统<sup>[7]</sup>,一般放大级采用三节电极,激光器要长到 2 m,二级放大就更显得长了,用折叠光路系统可使激光器大大缩短,同时还能达到所要的性能特性。

本工作得到王乃弘同志的指导和支  
持。牛振亚、管敬贤同志参加了部分工作,谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] Paul Pace; *James Cruickshank SPIE*, 1980, **227**, 28.
- [2] G. Megie, R. T. Menzies; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 835.
- [3] N. Lee, L. Aggarwal; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, 2620.
- [4] R. A. Pougat; *Rev. Sci. Instrum.*, 1982, **52**, 181.
- [5] L. M. Frantz, J. S. Nodvik; *J. Appl. Phys.*, 1963, **34**, 2346.
- [6] J. L. Lachamhce, J. Gilbert; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-9**, No. 4, 459.
- [7] M. Bernardini, A. Digiulio; *IL NVOVO CIMENTO*, 1983, **73B**, 112.