

# 横向激励双放电CO<sub>2</sub>激光器

邱闽旺 陈金华 陈 光 陈 涛

(中国科学院福建物质结构研究所)

郑 秉 恒

(福州大学)

## 摘 要

采用了叶片状阴极的双放电结构,制成了一台横向激励CO<sub>2</sub>激光器。每个脉冲最大输出能量为7.9焦耳,重复频率12、20、30、60、120次/分钟可变,转换效率达10.5%。

## 一、引 言

为了适应激光化学和激光光谱学研究工作的需要,我们试制了一台横向激励(TEA)双放电CO<sub>2</sub>激光器。当输入电压 $V_1 = 24000 \sim 25000V$ 时,每个脉冲的激光输出能量为7.9焦耳,转换效率为10.5%;最大输出时为8.6焦耳,总效率为11.8%。功率约为40~50兆瓦,重复频率12、20、30、60、120、次/每分钟可变。

该仪器已于1981年底移交华侨大学化学系使用。一年多来,正常运转,性能稳定,并在激光诱导化学荧光的研究工作中初见成效。

横向激励CO<sub>2</sub>激光器是脉冲CO<sub>2</sub>激光器的一种,双放电结构是使TEA CO<sub>2</sub>激光器获得大面积均匀辉光放电的方法之一。双放电装置有多种,我们采用了国内外较常见的叶片状阴极及玻璃管作为触发丝——阴极之间的绝缘介质的结构<sup>[1-3]</sup>获得了较大体积的均匀放电。

通常,TEA CO<sub>2</sub>激光器的激励电压和工作气压都比较高。在气体放电过程中,快速电子一面直接激发CO<sub>2</sub>分子到激光上能级(00°1);一面激发N<sub>2</sub>分子到高能级,而后通过处于亚稳态能级的N<sub>2</sub>(V=1)分子与CO<sub>2</sub>分子碰撞发生共振转移,使CO<sub>2</sub>分子更有效地集居到激光上能级(00°1)上,从而建立粒子数反转。由于受激发射的作用,在谐振腔中产生激光振荡,从输出窗发射激光。在工作气压和重复频率不变的条件下,改变放电电压,便可改变每个激光脉冲的输出能量。

## 二、器件装置

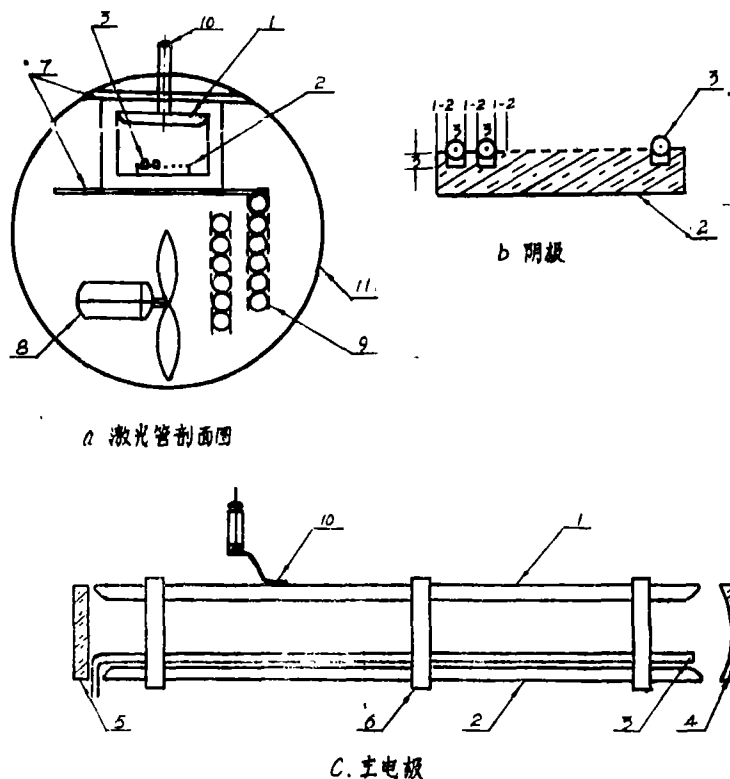
### 1. 激光管

激光管结构大体与[3]所述相似。剖面图如图(一)所示。激光管采用 $\phi 307$ 毫米、壁厚10

本文1982年11月21日收到。

毫米、长1000毫米的有机玻璃管。阳极、阴极和触发极安装在管内上部，管内下部装小风扇和冷却水管。上下连成一体，借助于有机玻璃半圆支架，固定在管内。管的两端为铝制法兰盘。谐振腔由 $\phi 70\text{mm}$ 的曲率半径为5米（或6~10米）的镀金全反射镜和 $\phi 70\text{mm}$ 的锗输出平面镜组成，它们分别固定在激光管两端的法兰盘上。

阳极采用类儒可夫斯基（Rogowski侧面）<sup>[4, 5]</sup>电极形状。阴极表面开有宽3毫米、深3毫米的凹槽，槽间距为1—2毫米。槽内放置外径为3.0~3.1毫米的硬质玻璃管，管内装铜丝。铜丝外径与玻璃管内径相近，使铜丝中心与阴极表面尽可能地保持在同一平面内。铜丝并联构成触发极。阳极和阴极间距为36.7毫米，误差应小于0.1毫米。电极表面必须仔细抛光<sup>[6]</sup>。两主电极调节平行后，用三只有机玻璃框架固定。电场中心线必须保持与谐振腔轴重合，这可借助于He—Ne激光管和内调焦平行光管来调节。



图(一) 激光管内部结构示意图

(1) 阳极 (3) 阴极 (3) 触发丝及外套玻璃管 (4) 全反射镜 (5) 输出平面镜(Ge片) (6) 电极框架 (7) 导流板 (8) 风扇 (9) 冷却水管 (10) 阳极接头 (11) 激光管

## 2. 供电线路

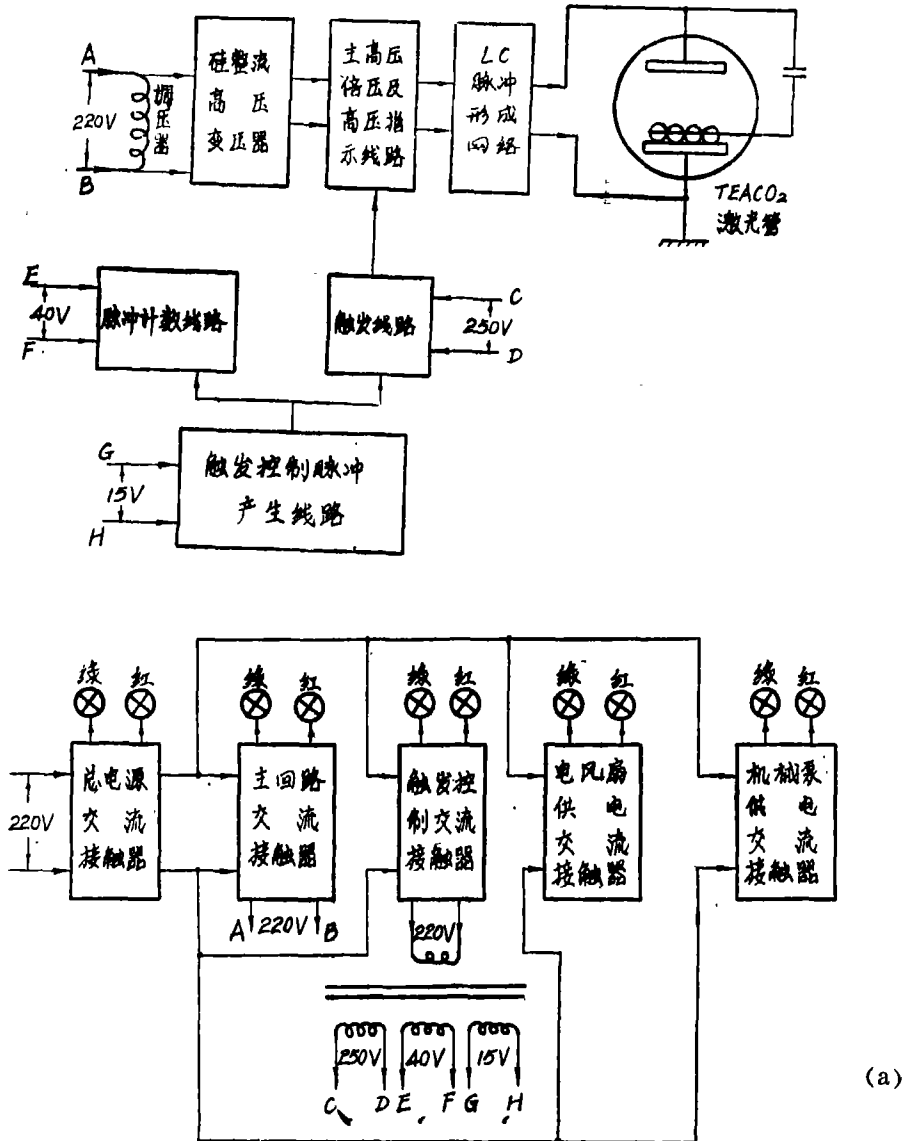
供电线路包括主回路（激励电路）、触发、计数及控制线路。如图(二)所示。

主回路由二级的Marx发生器和 $L$ 、 $C_3$ 、 $R_5$ 、 $C_4$ 构成的脉冲形成网络组成。<sup>[6, 7]</sup>

Marx发生器关键在于 $L$ 、 $C_3$ 、 $R_5$ 的选择。调整 $L$ 和 $C_3$ 的数值（一般是调整 $L$ 的数值）使

主放电的击穿时刻比予电离开始的时刻延迟 $1.5\sim 2.0\mu\text{S}$ ，在这一时间内，阴极附近已产生大量的电离粒子，从而保证主放电的均匀激励。 $R_0$ 的选择也很重要<sup>[7]</sup>， $R_0$ 太小，会因流过 $R_0$ 的电流较大损耗过多的电能，而降低了激光器的效率。反之， $R_0$ 太大，则会使激光器的放电出现弧光。所以必须通过实验，合理地选择 $L$ 和 $R_0$ 的数值，以保证主放电不出现弧光而又有较大的输出功率。在我们的器件中， $R_0$ 取 $80\sim 100\Omega$ ，用 $500\text{W}$ 电炉丝绕在刻槽的有机玻璃板上。

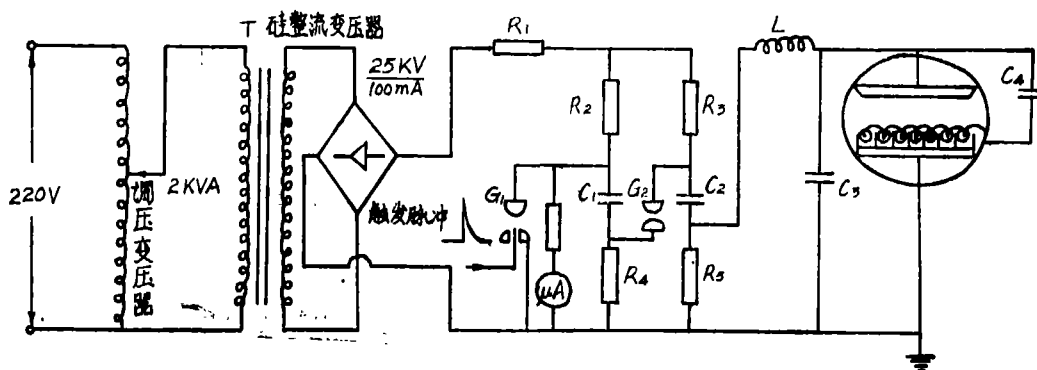
图(二)(a)TEACO<sub>2</sub> Laser电路方框图



(a)

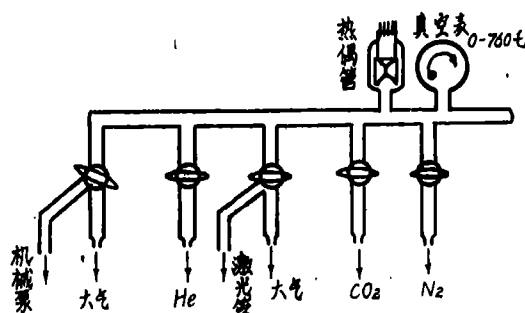
图(二)(b) TEA CO<sub>2</sub>激光器电源主回路

$R_1=150K\Omega$ ;  $R_2=R_3=R_4=50K\Omega$ ;  $R_5=80\sim 100\Omega$ ;  $C_1=C_2=0.12\mu f$ ;  $C_3=0.025\mu f$ ;  $C_4=2500pf$ ;  $L=7\mu H$ .



### 3. 充、排气系统

充、排气的真空系统<sup>[3,8]</sup>如图(三)所示。充气以前必须对系统抽真空，真空度最好不劣于0.2 $\tau$ 。开始使用或隔较长时间没用而再启用时，宁愿把系统真空度抽高一点（达到 $10^{-2}$  $\tau$ 范围），然后再充入工作气体。真空度用FZh-1型复合真空计测量，充气时气压用0~760 $\tau$ 的真空表指示。



图(三) 充、排气真空系统

## 三、实验结果

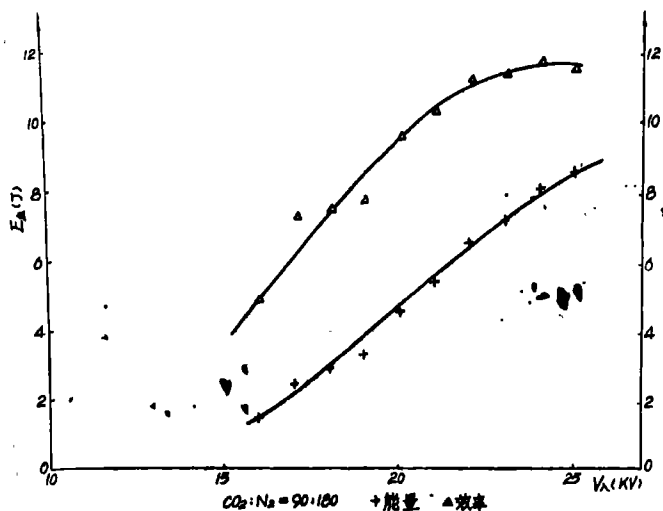
### 1. 激光模式

激光输出为多模。我们在激光束输出窗外近8厘米处，用复写纸接收，可见到被激光束烧熔的25mm $\times$ 30mm光斑痕迹。如果打在心电图纸上，可见到激光强度分布的不均匀性，这可能是由于触发丝数目有限而使放电不均匀而引起的。尽量缩小触发丝的间距（即阴极凹槽的间距），增加触发丝的数目可能改善激光强度的横向不均匀性。用平凸透镜稍作聚焦，可在心电图纸上打出一个6mm $\times$ 7mm的长方形黑斑。

### 2. 输出能量

本器件在总气压为270 $\tau$ ，CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> = 90:180( $\tau$ ) 输入电压  $V_1=24000\sim 25000V$  的条件下可获得7.0焦耳/脉冲的输出，效率达到10.5%；最大输出为8.63焦耳/脉冲；总效率最大时为11.8%。图四显示出输出能量随输入激励电压而变化的趋势及相应的效率。

$$\text{输入能量 } E_1 = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) V_1^2 = C_1 V_1^2$$



图(四) 激光输出能量随激励电压的变化及对应的效率

因为  $C_1 = C_2$ ,  $V_A$  为输入电压。

总效率  $\eta = E_{出}/E_A$

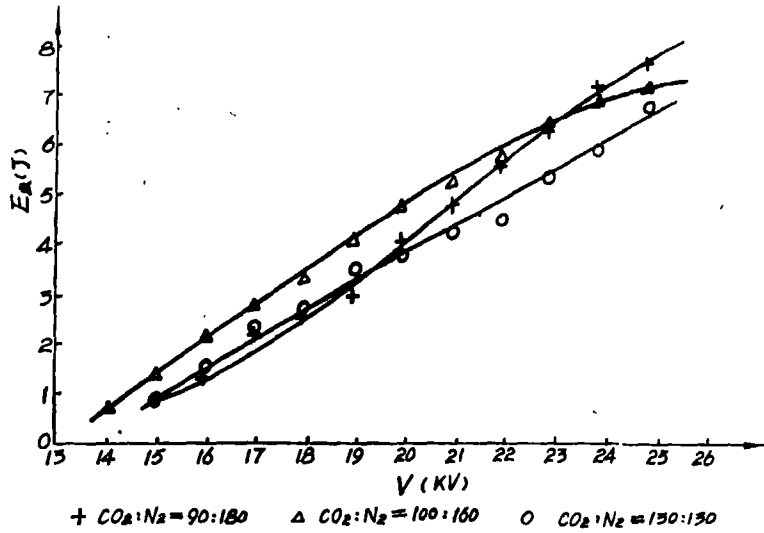
光路、电路采用下列参数：全反射镜曲率半径为 5 米，镀金，反射率达 99.8%；输出镜采用 Ge 平面镜，平面度低于 1 个光圈，平行度处于  $15'' \sim 30''$  之间。主供电线路中  $R_1 = 150K \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = R_4 = 50K \Omega$ ,  $R_5 = 90 \Omega$ ;  $C_1 = C_2 = 0.12\mu f$ ;  $L = 7\mu H$ ;  $C_3 = 0.025\mu f$ ,  $C_4 = 0.0025\mu f$ , C 两端电压为 25000V。

激光能量用 JN-1 炭斗配 AC-15/4 光点反射式检流计检测 (上海计量局定标)。

### 3. 气件配比

TEA  $CO_2$  激光器的工作气体一般由  $CO_2$ 、 $N_2$  和 He 三种气体混合组成，也可在无 He 的条件下运转。我们在总气压为 100 毫 ~ 300 毫 的范围内对各种气体配比进行试验，在无 He 的情况下，从实验结果得出， $CO_2:N_2 = 1:1.5 \sim 1:2$  的比例较为合适，即在电压及总气压一定的情况下，这一比例输出能量略高，相应的转换效率也比较高。以气压为 260 毫 ~ 270 毫 为最佳，图五显示出在气压一定的条件下，气体配比不同时输出能量随输入激励电压的变化规律。从图中可以看出，当  $CO_2:N_2 = 1:1.6$  和  $CO_2:N_2 = 1:2$  时， $E_{出} \sim V$  曲线在 E 轴上的截距和斜率与  $CO_2:N_2 = 1:1$  的  $E_{出} \sim V$  曲线相比会相对地略高一些。

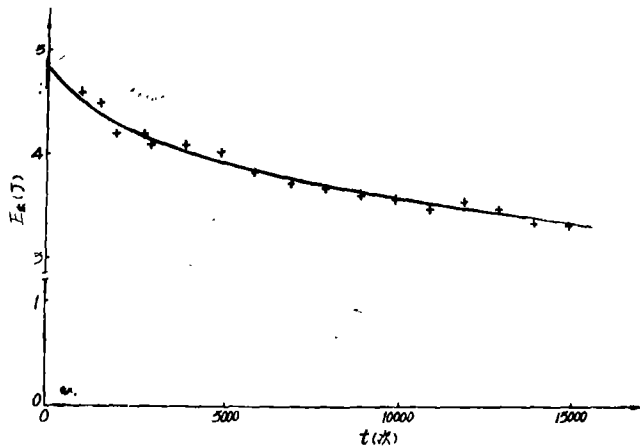
在  $CO_2:N_2 = 1:1.5$  的情况下，我们曾在总气压为 100 ~ 300 毫 范围内对氮的各种配比进行试验，测量结果表明，在我们的器件中，加入氮虽然从宏观看来能改善电离的均匀性，使  $CO_2$  得到充分的应用，但加入氮却相对地降低工作气体的起弧电压，从而影响了激光输出能量和相应的效率。这可能是我们器件的工作气压不高，气体纯度不高、电离不够均匀的缘故，也可能是加入氮相应地降低了  $CO_2$  在总气压中的比例，以及 He 的电离能较低之缘故。这一点有待在实验中进一步摸索。因此我们的器件一般在无氮的条件下运转。



图(五)激光输出随气体配比改变的变化

#### 4. 器件寿命

如[3]所述,器件寿命指更换一次新的工作气体后在规定的条件下,能连续工作的脉冲次数。我们将器件抽空至 $10^{-2}$ 托后,充以 $\text{CO}_2:\text{N}_2 = 100:160$ 托的气体, $C_1$ 的两端电压为20000V,以40次/每分钟重复频率运转,连续发射15000个脉冲,能量以4.8焦耳下降到3.4焦耳,如图六所示。在器件运转的后段,偶有拉弧现象,多发生在充电电压突然波动的片刻。其原因除了电极的平行度及予电离均匀度不够高外,主要是气体老化及器件慢性漏气所引起。后者已从实验中观察到。当我们把器件再度抽真空,重新换上新的气体时,在其它条件不变的情况下,器体又恢复原来的性能,重复性很好。



图(六)激光输出随时间的变化

如果在激光输出的稳定性要求较高时,工作气体可采用流动式的。这样,当工作气压和激励电压比较稳定时,器件可保持较长时间输出稳定不衰减,减少甚至避免拉弧现象。

## 结 束 语

本器件是横向激励脉冲气体激光器的一种，在无氦气的条件下运转。由于采用合理的叶电状阴极结构和精心制作了触发丝，获得了较大面积的均匀放电。当气体配比和激励电压最佳时，每个脉冲输出能量为7.9焦耳，效率达10.5%，功率约40~50兆瓦。输出性能比较稳定，可提供作为激光化学和激光光谱学实验的光源。器件的其它性能有待进一步摸索。

在器件的调试过程中，曾得到黄文灿、魏培才、林中光、陈正仪等同志的有力协助，沈瀛元、黄祥金、吴柏昌、陈继明等同志提出许多宝贵的建议，谨在此一并致以诚挚的谢意。

## 参 考 文 献 歌

- [1] 单灵洪，复旦学报，(3—4)，92(1974)。
- [2] R. Dumanchin, et al, IEEE J. of Q. E. , QE-8, (2), 163 (1972)。
- [3] 中国科学技术大学 刘玉申等，选频双放电TEA CO<sub>2</sub>激光器。《第五届全国激光学术报告会》论文。
- [4] J. D. Cobine, Gaseous conductors theory and engineering applications, P117—181(1941)。
- [5] H. J. Seguin, et al, Rev. Sci. Instr. 43, (8) 1134 (1972)
- [6] P. E. Dyer, et al. J. phys. , E: "Sci. Instr"vol. 5, No.12 1162(1972)
- [7] 复旦大学：《激光原理与技术》(讲义)第二分册。
- [8] 《激光译丛》(2)，2(1974)。

## DOUBLE-DISCHARGE TRANVERSELY EXCITED ATMOSPHERIC PRESSURE CO<sub>2</sub> LASER

Qiu Minwang, Chen Jinhua, Chen Guang, Chen Tao and Zheng Bingheng

### Abstract

There has been developed with strips cathode construction a CO<sub>2</sub> Laser of double-discharge transversely excited atmospheric pressure(TEA). The maximum laser energy output is approximately 7.9J in a single pulse, and the repeated frequency varies over the range of 12, 20, 30, 60, and 120 times per minutes. The efficiency of the device is 10.5 percent.