

列阵式密封小型 TEACO₂ 激光器

潘承志 翟 明 李喜平 刘秀云

(北京真空电子技术研究所, 北京)

提要: 本文报道一种新型列阵式密封小型 TEACO₂ 激光器。该器件不仅可获得多光束输出, 而且利用它进行多种形式的组合, 可得到具有各种高质量的激光输出, 在许多领域有着广泛的应用潜力。

关键词: TEACO₂ 激光, 多光束, 列阵

Array-typed, sealed-off mini-TEA CO₂ laser

Pan Chengzhi, Zhai Ming, Li Xiping, Liu Xiuyun

(Beijing Vacuum Electronics Research Institute, Beijing)

Abstract: An array-typed, sealed-off mini-TEA CO₂ laser is reported. This device can not only deliver multi-beams parallelly, but also various CO₂ laser outputs with high quality by using optical systems combinations, there by it has wide potential applications in many scientific and technical fields.

Key words: TEA CO₂ laser, multi-beams, array

一、激光器结构

图1为我们所研制的列阵式小型密封 TEA CO₂ 激光器的示意图。它由四个相同的列阵单元所组成, 每个单元实际上是一个完整的 TEA CO₂ 激光器结构。主放电电极采用张氏铝质电极, $k=0.06$, 极间距为 8 mm。在相应于间距的宽度内, 电场的相对变化小于 10^{-5} 。放电区的有效长度为 140 mm。介质表面电晕预电离源是利用置于一张氏电极两侧的介质管内的金属棒组成, 它在电气上与另一张氏电极直接相连。我们将数个上述单元巧妙紧凑地组合在一起置入外壳内。根据需要, 可设计特殊的光学系统与此种列阵放电结构结合, 就构成有特定性能输出的激光器。例如, 在最简单的情况下, 对每个单元配上一个相同的光学谐振腔, 就可同时获得四束平行的激光。每个放电单元有其自身的但相同的放电线路, 由同一个触发管控制其同时放电。

根据需要, 已设计出圆周型、线型和方格型等多种列阵结构, 它们不仅适用于 TEA CO₂ 激光器, 而且适用于其它 TE 型气体激光器件, 如 N₂ 和准分子激光器等。

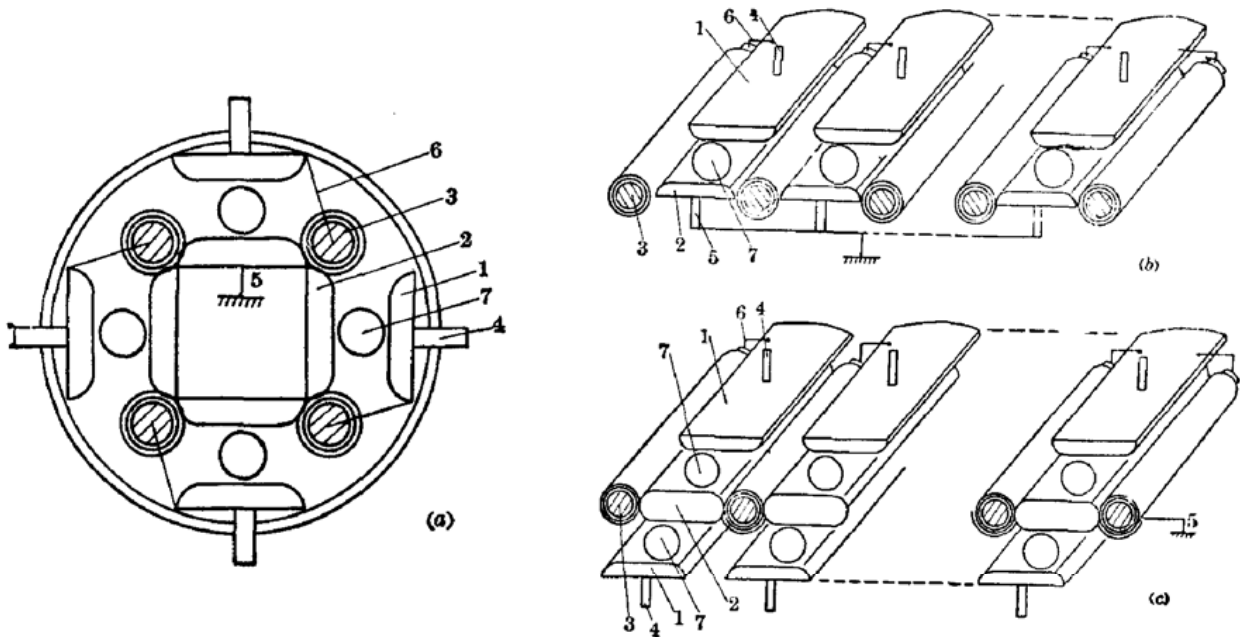


图1 列阵式密封小型TEACO₂激光器示意图。(a) 圆周形; (b) 线型; (c) 方格形
1, 2—主放电电极; 3—预电离棒; 4—主电极引线; 5—地线; 6—连接线, 7—腔镜

二、实验研究

2.1 SCP 技术^[1]的选择与研究

众所周知, 脉冲TE型气体激光器仅在均匀辉光放电条件下才能形成有效的气体激励而产生激光。良好的预电离是保证均匀辉光放电, 从而实现器件长期稳定工作的关键。目前, 多种预电离技术方案与结构已用于这类器件中。其中, 最引人注目的一种新型结构是利用介质表面上电晕放电作为光预电离源^[2], 简称为SCP技术。经分析研究表明, 这种技术很适用于列阵式密封小型TEACO₂激光器。

SCP结构是两个金属电极中间夹有一个介质层(见图1)。当一个快速上升的电场出现在介质层的两侧时, 就使之极化, 在其表面上出现电子, 在预电离棒与电极连接的馈送电路中就会出现电流。该电流强度正比于电极-介质管组件的分布电容, 即正比于 ϵ_r/d 比值(其中 ϵ_r 为介质的介电常数, d 为两金属电极之间的距离, 一般即为介质的厚度)和所加的电压梯度。由于存在着一个阶变的电场, 所以, 电子就容易由介质表面和主电极上拉出来, 一旦在气体中出现足够数量的电子, 就很快发展成雪崩, 产生电晕放电。依据预电离棒相对于邻近主电极的极性, 可有正电晕与负电晕之分。所形成的电流使介质管周围的分子气体发热, 电晕电流的强度就确定了将有多少光子由放电区发射出来, 而放电电子的能量分布就确定了所发射的光谱分布。正是这两个因素确定了预电离效果的好坏。所产生的紫外辐射引起主放电电极空间的体积光电离, 而引发主放电。

虽然在文献中有一些关于光发射谱和光强研究的报道, 但由于实验条件和结构上的差异, 不能反映我们的情况和需要。据此, 我们设计了一个独特的实验装置, 在激光器的实际工作条件下, 用单色仪测量了光发射谱, 用大壳层连续型静电探针测量了光电子密度。

图2示出总气压500 Torr、CO₂:N₂:He=1:1:3, 电压18 kV时, 在100~500 nm范围内

对四种 SCP 结构配置得到的光发射谱,由图可见,在 100~140 nm(中心峰值在 115 nm)的一个窄域和 300~450 nm(中心在 350 nm)的一个宽域内有丰富的谱线分布。虽然光强随结构配置、极性、气压和电压发生变化,但谱分布基本不变。在用不能透过 120 nm 以下谱线的材料隔开主放电空间与预电离结构里,主放电变得不均匀以至严重起弧;反之,当用某种材料滤掉 350 nm 左右的光而允许 120 nm 以下的光透过时,主放电仍能均匀,不起弧。这说明 120 nm 以下的谱线对预电离起着重要作用,这也许是因为 CO₂ 分子对 120 nm 以下的光有强烈吸收作用^[3]的缘故。由图 2 可见,在光发射谱中 100~140 nm 部分占总能量的 40% 左右。可见,SCP 是一种高效率的紫外光预电离源。

图 3 示出总气压 500 Torr, CO₂:N₂:He=1:1:3 的混合气中测得的光电子密度随电压的变化曲线。由图可见,光电子密度随场强的增加而上升,而且在达到某一阈值后,出现跃变式上升。这是由产生电晕的条件所决定的,与预电离棒的形状和尺寸、位置、气压和极性有关。这也说明器件不能工作在某最低电压下,最高的光电子密度达 10¹³ cm⁻³,足以产生良好的预电离。

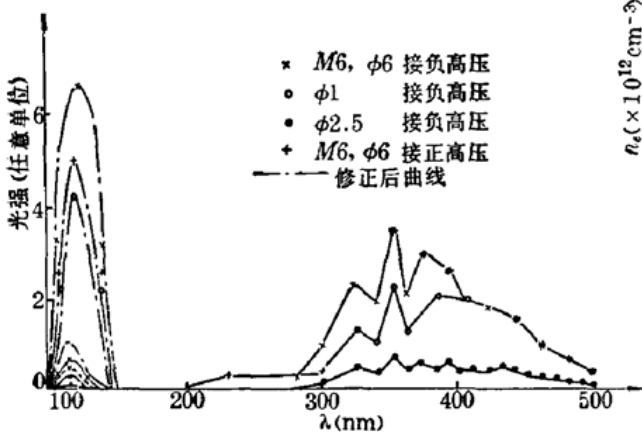


图 2 SCP 的光发射谱

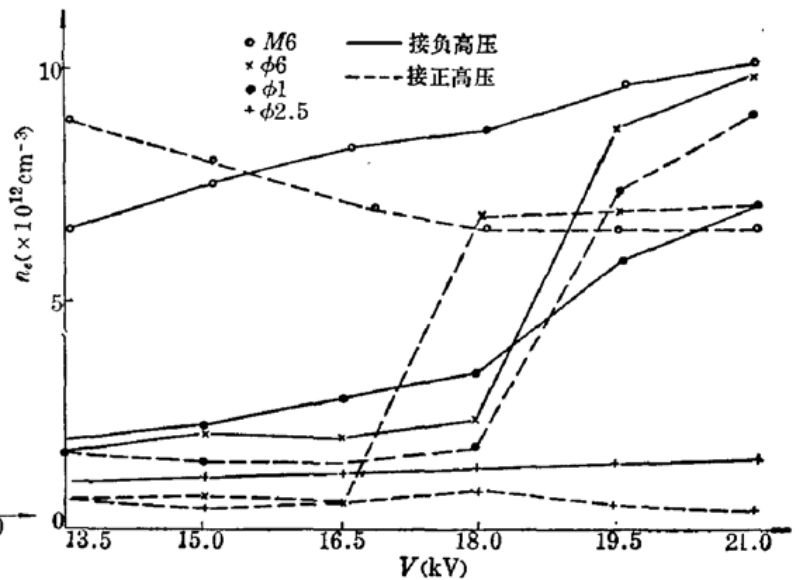


图 3 SCP 的光电子密度~电压曲线

2.2 激光器工作特性

我们对具有四个列阵单元的圆周型列阵激光器的工作特性进行了详细研究。图 4 为列阵单元的电路示意图,其余三个单元与之相同,但由同一个触发管控制放电。四个单元的光学谐振腔均由曲率半径为 2 m 的镀金全反射镜和 Ge 平面反射镜组成,腔长 250 mm。小的峰值电容器直接跨接在主放电电极上,以产生快速的初始放电并降低充电电压的要求。贮能和峰值电容器都采用陶瓷电容器。放电回路中均采用宽大薄铜皮连接,以尽量减小回路电感。

用四台能量计同时测量各束激光每次放电产生的激光脉冲能量,结果表明四束能量的相对误差小于 ±5%。利用四个光子牵引探测器接收光脉冲(通过相同的光程),在示波器上显示各脉冲的同步特性及光脉冲波形,发现束间输出时延不超过 ±5 ns,且波形相同。这些结果表明激光器各束输出特性基本上是一致的。这是由于各列阵单元各自独立,虽处于相同的结构和工作条件下,但由于调整精度上略有误差,以及由于各光学腔元件的光学质量稍有差异,所以各束能量和出现脉冲的时间上略有不同。

图 5 示出总气压和 He 分压分别固定在 500 Torr 和 260 Torr 时,单脉冲输出能量 E 随 γ

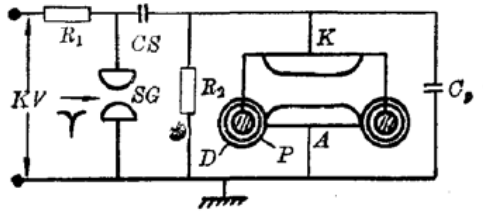


图4 SCP单元TEA CO₂激光器与电路示意图。
C_s—贮能电容器(6000 pF), C_p—峰值电容器(570 pF)

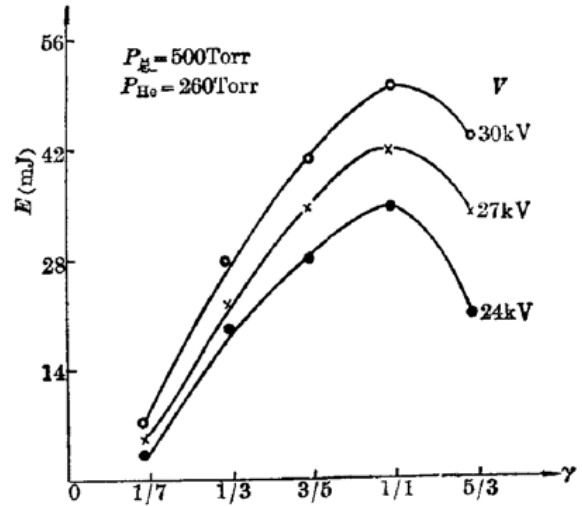


图5 E-γ 曲线

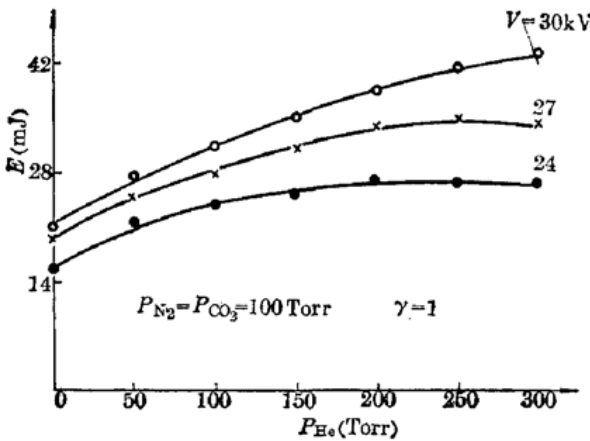


图6 E~P_{He} 曲线

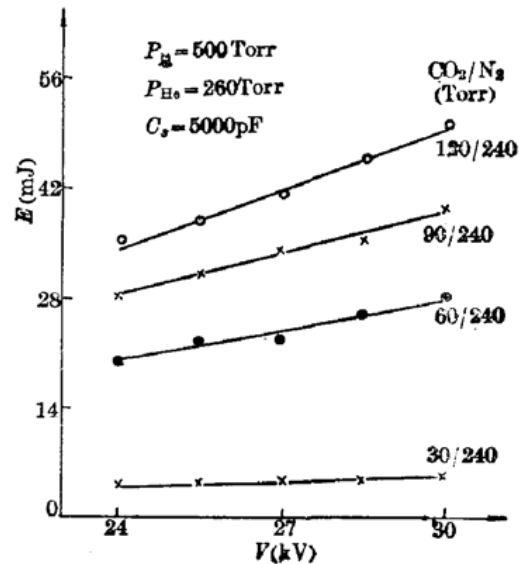


图7 E~V 曲线

($\gamma = P_{N_2}/P_{CO_2}$)的变化关系,并以工作电压为参量。由图可见,随着 γ 的增大, E 迅速增大到一极大值后又下降,这显然是由于 N_2 的共振转换效应在起作用,而后是由于 CO_2 含量过少而致。当 P_{CO_2}/P_{N_2} 为1时,可得到最佳能量输出。

图6示出固定 $\gamma=1$,并逐渐增加He的分压 P_{He} 时, E 的变化情况。 P_{He} 由0增加至300 Torr, E 增大了1倍左右。这显然是由于He的加入改善了放电均匀性。

图7示出总气压为500 Torr时,几种混合气时 E 随工作电压的关系曲线, E 几乎随 V 线性增长。但电压过高,放电状况变坏, E 急骤下降(图中未示出)。这是由于 E/P 值达最佳值(~ 75 V/cm·Torr)后过大所致。

对输出脉冲波形的研究指出,脉冲上升前沿、后沿、脉冲宽、尖峰内能量与拖尾部分内能量,均随诸参量有显著的变化。示波器示出其脉冲前沿 <10 ns,脉宽40~50 ns,尖峰内能量占总能量的80%以上。因为 $E=60$ mJ,所以 $\hat{P} \geq 1$ MW。由此图形还可以看出有明显的拍频现象,与理论结果一致^[4]。

(下转第264页)

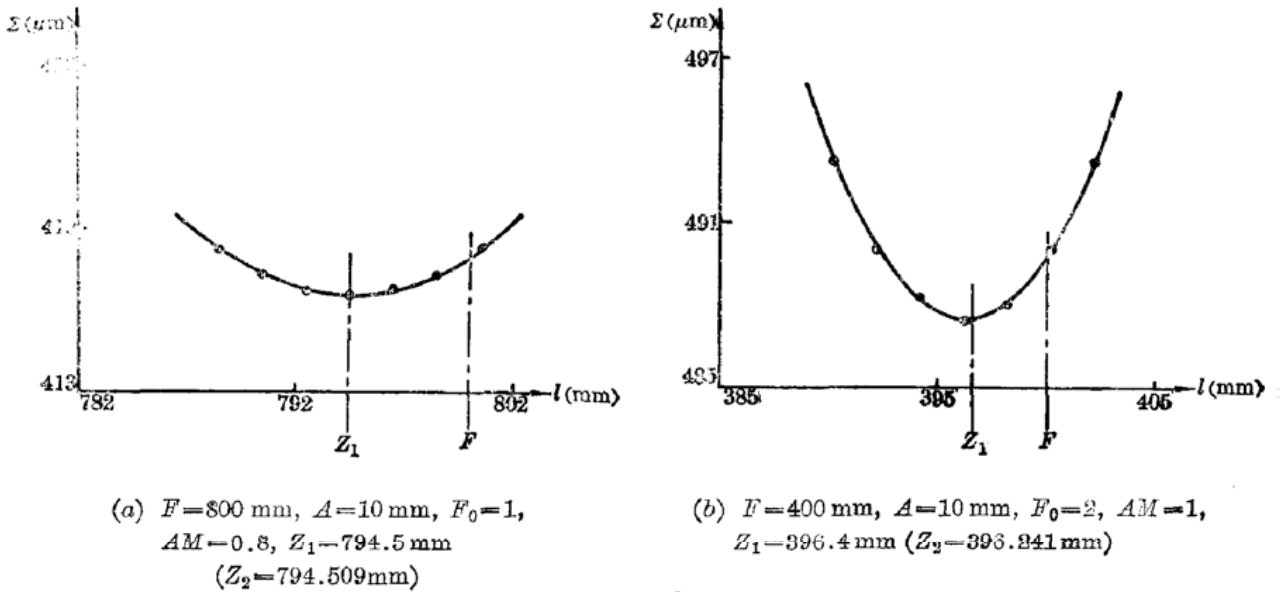


图 2

(mm), $Z_2=396.24$ (mm)。可见,两种方法得出的结果是相当一致的。

由此我们得出以下结论:

(1) 几何光学传输用一个参量描写, 高斯光束传输用两个参量 R 、 σ 描写, 在准远场区段傍轴光束传输用三个参量 Σ 、 E_t 、 E_r 描写。(2) $ABCD$ 定律可推广用于傍轴光束传输。(3) 流体模型理论是描写光束传输的有效理论。

参 考 文 献

- 1 H. Kogelnik; *BSTJ*, **44**, 455(1965),
- 2 邓锡铭, 方洪烈, *激光*, **7**(2), 14(1980)
- 3 邓锡铭, 方洪烈, *激光*, **6**(11), 1(1979)
- 4 邓锡铭, 陈泽尊, *光学学报*, **3**(5), 385(1983)

~~~~~  
 (上接第 272 页)

另外, 还用腔内加光阑的方法, 研究了横模变化特性, 光阑直径  $2a$  可由  $\phi 4$  变化至  $\phi 8$ 。在小于  $\phi 7$  时, 可在平-平腔情况下得到较好的横模输出, 呈高斯分布。分别采用 120 线/mm 和 150 线/mm 的金属基底原刻光栅进行了选频实验, 在  $9\sim 11\ \mu\text{m}$  范围内得到了近 50 条谱线输出。

寿命试验表明, 以每秒  $1\sim 5$  次的重复频率工作时, 在前 5000 个连续脉冲期间,  $E$  逐渐下降。这显然是由于  $\text{CO}_2$  离解, 形成  $\text{CO}$  和  $\text{O}$ , 随后形成  $\text{N}_2$  的氧化物等有害物质的缘故。此后输出能量达到基本稳定, 即气体离解和复合几乎达到动平衡,  $E$  趋于不变, 直至  $10^6$  次脉冲,  $E$  为初始值的 65%。

### 参 考 文 献

- 1 潘承志 *et al.*, *激光与红外*, **18**(2), 19(1988)
- 2 R. Marchetti *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-11**(11), 1766(1975)
- 3 A. J. Palmer *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*; **QE-10**, 751(1974)
- 4 K J. Andrews *et al.*, *J. Phys. Scientific Instrum.*, **8** (6), 493(1975)