

单频 TE CO₂ 激光器

曹洪如 王华胜 陈永荣 车明瑜 胡雪金
(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

本文首次应用压缩腔长和适当降低总气压的简单方法,在横向激励(TE)高气压 CO₂ 激光器中获得了单频输出。激光器腔长 14cm, 激活长度为 10cm, 气压 240 Torr, 单频输出能量为 7mJ。
关键词: 单频; 横向激励 CO₂ 激光器。

一、引 言

在激光化学、激光光谱学、非线性光学等许多基础研究以及光泵远红外激光器中需要用到单色性好、在空间和时间上光能量分布规则的峰值功率高的光源。单频 TE CO₂ 激光器就能提供这种高质量的激光束。

在横向激励高气压 CO₂ 激光器中使放电均匀并选择合适的光阑就可实现 TEM₀₀ 模运转。但要达到单频运转并非易事。腔长 1m 的 TE 高气压 CO₂ 激光器纵横间隔为 150 MHz, 而总气压为 400 Torr 的增益宽度约为 1.6 GHz。这就意味着能有多个纵横频率同时振荡。虽然已经发展了许多产生单频的方法,例如腔内饱和吸收法、双不稳定腔以及在腔内采用低气压和高气压的混合系统等^[1]。所有这些都是器件结构复杂、体积庞大(如混合系统一般长达 3~4 m), 给调整和运转带来一定的困难。本文首次利用压缩腔长和适当降低气压的简单方法,保证器件单频输出,使器件向简单化、小型化的方向迈进一步。

二、实验装置和器件的设计

为在一个短至 10 cm 的放电区上获得均匀无亮丝的放电(见图 1 放电照片)采用 T. Y. Chang 面型黄铜电极^[2]。电极长 10 cm, 宽 2 cm, 极间距 6 mm, 表面抛光。同时采用 Blumlein 快速放电路径(图 2), 左右两边铜板的面积为 50 × 10 cm², 上、下铜板之间用 6 层 0.1 mm 厚的聚酯薄膜绝缘(图中用虚线表示)。火花球隙一头与上铜板相连接, 一头与下铜板相连接使自感最小。储能电容 C 为 8000 pF 高压脉冲电容, 电阻 R 为 15 kΩ。为了得到更均匀的放电, 在两电极的旁边插入两块铜皮与左边的电极相连, 并用 0.1 mm 厚的聚酯薄膜与另一电极绝缘(图中实线表示铜皮, 虚线表示聚酯薄膜)。当火花球隙导通时, 铜皮和右电极的电晕放电使主放电区得到预电离。图 1 放电照片中, 上、下两边的亮丝就是此电晕放电。这种预电离, 结构简单不需要任何耦合元件, 而直接与电极相连接。

适当地降低工作气压,使得在一个增益线宽内只可能有一个纵横振荡。简单的计算表明,腔长为 14 cm 时纵横间隔 $\Delta\nu=1.07\text{GHz}$ 。混合气体(CO₂:N₂:He=1:1:4)总气压应为 240 Torr。根据压力加宽公式谱线宽度^[4]

$$\Delta\nu=0.5(T/300)^{1/2}[0.59P_{\text{He}}+0.75P_{\text{N}_2}+P_{\text{CO}_2}]。 \quad (1)$$

计算得 $\Delta\nu=1.07\text{GHz}$ ($T=300\text{K}$)。式中 P_{He} 、 P_{N_2} 、 P_{CO_2} 分别为 He、N₂、CO₂ 的分气压。由于激活长度仅 10 cm,只有 $P(20)$ 才能发生振荡^[3]。在实验中用红外光谱仪测量也证实了这一点。这样只可能有一个纵模输出。

为了获得较大的模式体积,我们用大曲率半径的平凹腔结构。全反射镜的曲率半径为 5 m, 输出窗口的反射率为 87%。模光斑在球面镜和平面镜处的直径分别为^[5]:

$$\phi_1=2\left(\frac{\lambda L}{\pi}\right)^{1/2}\left[\frac{R^2}{L(R-L)}\right]^{1/4}, \quad (2)$$

$$\phi_2=2\left(\frac{\lambda L}{\pi}\right)^{1/2}\left[\frac{R-L}{L}\right]^{1/4}, \quad (3)$$

式中 λ 为激光波长, L 为腔长, R 为球面曲率半径。由我们的实验参数计算得 $\phi_1=3.45\text{mm}$, $\phi_2=3.39\text{mm}$ 。激光腔内在距离球面镜 5 mm 处用直径为 4.3 mm 的光阑便可得到 TEM₀₀ 模输出。



Fig. 1 A photograph of discharge taken from axial direction

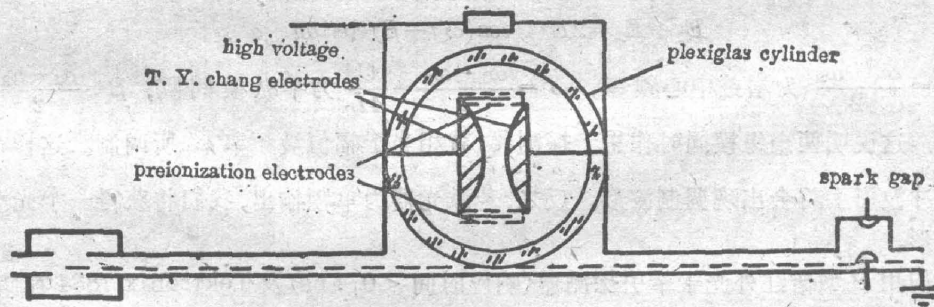


Fig. 2 Discharge circuit of the experimental set-up

三、实验结果及单频的鉴定

为了获得 TE CO₂ 激光器单频输出,必须使激光器运转在单横模、单纵模。根据以上的计算我们选用 CO₂:N₂:He=1:1:4 总气压为 240 Torr 的混合气体。球面镜曲率半径为 5 m, 光阑直径为 4.3 mm, 激励电压为 12 kV。用 AC 15/5 直流复射式检流计和 RPM-1 型功率计测量激光能量。单脉冲输出能量达 7 mJ。用 SF-33 型热释电红外摄像管结合 SGB-5 摄像头和 925 电视监视器测量光斑形状^[6]。摄像管距激光器输出端约 1 m。从工业电视监视器上摄得的 TEM₀₀ 模式图样示于图 3。并用 SBM-14 示波器显示光强分布波形图。所摄的照片示于图 4。与高斯分布的理论计算值相比较,符合得很好。

我们用 CO₂ 激光光谱线仪观察了 TE CO₂ 激光器的输出谱线。在 10.6 μm 处发现有一

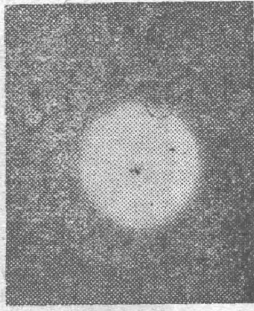
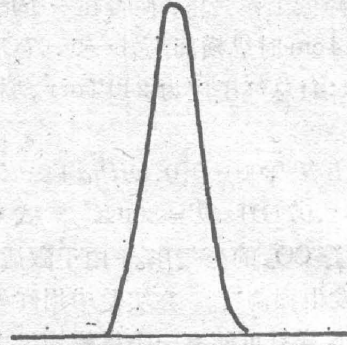
Fig. 3 TEM₀₀ pattern

Fig. 4 Light intensity distribution

根亮线, 经标识确定为 $10.6 \mu\text{m } P(20)$ 。在 $9.6 \mu\text{m}$ 处没有发现任何亮线。同时在器件运转过程中我们观察了 $P(20)$ 的稳定运转, 没有发现跳模现象。

若气压升高就可能在 $P(20)$ 增益线宽内, 同时存在两个纵模, 并假定两个纵模有相同的辐值, 即:

$$E_1 = E(t) \cos(\omega_1 t + \alpha_1), \quad (4)$$

$$E_2 = E(t) \cos(\omega_2 t + \alpha_2), \quad (5)$$

式中 $E(t)$ 表示辐值随时间的变化, ω_1 、 ω_2 分别为两个纵模的频率, α_1 、 α_2 分别为它们的初始相位。

这样探测器上所接收到的光脉冲实际上为两个纵模的叠加, 即:

$$E_1 + E_2 = 2E(t) \cos(\omega' t + \beta) \cos(\omega t + \alpha), \quad (6)$$

式中 $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ 为增益中心频率, $\omega' = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = \frac{C}{4L}$ 为半纵模间隔, $\beta = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$, $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ 。这说明两个纵模同时作用于探测器, 就相当于辐值被频率 ω' 所调制。这样在探测的光脉冲波形上将会出现调制波形。反之, 若激光器为单频输出, 我们将获得一个光滑的光脉冲波形。

我们用 P 型锗红外光子牵引探测器 (响应时间 $< 0.1 \text{ ns}$) 及 Tektronix 7834 存储示波器测量了光脉冲波形。实验中辐值的调制频率 (即半纵模间隔) 约为 1 GHz , 探测器能足够快的响应光脉冲波形这样高频率的调制。

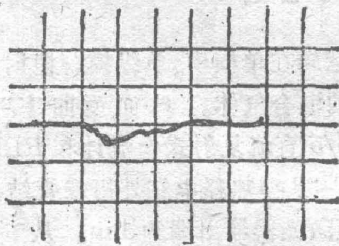


Fig. 5 Temporary laser pulse profile of two longitudinal modes.
time scale: 20 ns/div

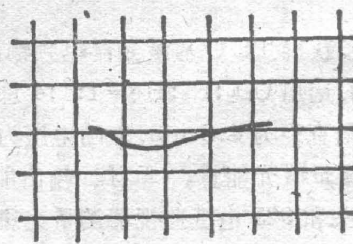


Fig. 6 Temporary laser pulse profile of single frequency output.
time scale: 20 ns/div

图 5 示出了两个纵模存在时的光脉冲波形。此时 CO₂ 激光器的工作气压为 460 Torr。从图中清楚地看到光脉冲波形被调制了。当气压降至 240 Torr 时获得了图 6 所示的稳定的光脉冲波形。这是一个光滑的波形图没有任何调制的痕迹。

四、结 束 语

我们首次用压缩腔长由一个简单、紧凑的 TE CO₂ 激光器获得了单频输出。用这种激光器作为振荡器,可将单频输出能量进一步放大,从而获得高能量的单频激光输出。或者用其作为注入式锁模系统的注入源,可以获得单频的锁模序列。在本结果基础上,通过其它措施,可建立稳频器件。

参加本工作的还有赵震声、李昭临和殷宝龙同志。

参 考 文 献

- [1] S. L. Chin; *Opt. and Laser Techno.*, 1980, 12, No. 2 (Apr), 85~88.
- [2] T. Y. Chang; *Rev. Sci. Instrum.*, 1973, 44, No. 4 (Apr), 405~407.
- [3] G. J. Ernst; *Rev. Sci. Instrum.*, 1977, 48, No. 10 (Oct), 1281~1283.
- [4] T. K. McCubbin *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, 8, No. 5 (Mar), 118~119. R. R. Patty *et al.*; *Appl. Opt.*, 1968, 7, No. 11 (Nov), 2241~2245.
- [5] 天津大学精仪系;《激光技术》, (科学出版社, 1972), 385.

Single frequency TE CO₂ laser

CAO HONGRU, WANG HUASHENG, CHEN YONGRONG, CHE MINGYU AND HU XUEJIN

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei)

(Received 13 November 1985; revised 9 June 1986)

Abstract

Single frequency laser output has been obtained for the first time from a transverse excitation (TE) CO₂ laser with the simple method of shortening the cavity length and decreasing total gas pressure appropriately. The cavity length of the laser is 14 cm only with activating length of 10 cm. The pressure is 240 Torr. The single frequency output energy of 7 mJ is obtained.

Key Words: Mono-frequency; TEA CO₂ lasers.