

# 电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器

王 骥 田兆硕 王雨三 何伟明 王春晖

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家重点实验室 哈尔滨 150001)

**提要** 报道了电光调 Q 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器,其中波导长度 400 mm,在插入电光调 Q 晶体但不加调制电压情况下,激光器的连续输出功率为 3.5 W。调 Q 脉冲重复频率 1 Hz~ 10 kHz 可调,在 10 kHz 重复频率时,获得了脉冲峰值功率为 200 W,脉冲宽度为 400 ns 的输出。

**关键词** 电光调 Q, CdTe 晶体, 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器

## 1 引 言

电光 Q 开关 CO<sub>2</sub> 激光器具有高脉冲重复频率、可编程输出及输出稳定等优点,目前已应用在相干成像雷达、激光通信和成像制导等许多方面<sup>[1-3]</sup>。电光调 Q CO<sub>2</sub> 激光器在国外已有许多研究报道<sup>[4-6]</sup>。在国内尚未见这方面文献报道。

射频波导激光器具有比输出功率大、结构紧凑、效率高、工作寿命长等优点,已广泛应用于许多领域。我们采用自行研制的射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器,获得了电光调 Q 脉冲激光输出。

## 2 激光器设计

射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器结构如图 1 所示,上、下铝电极与两片 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷构成截面为 2.25 mm × 2.25 mm 的波导通道,波导长为 400 mm。上下电极并联 10 个等值电感,并联谐振于射频源频率,使沿电极电压分布均匀。整个电极放入水冷不锈钢真空容器内,两端用全反镜及输出窗压紧氟橡胶 O 型圈密封。硅全反镜距波导口 10 mm,反射率为 99%,输出窗为两面镀增透膜的 ZnSe 窗片,透过率为 99.5%。采用第二类波导谐振腔时,可选择焦距为  $f = \pi w_0^2 / \lambda = 185 \text{ mm}$  的透镜,放置在距波导口  $f$  处,其中  $w_0 = 0.7032a$  ( $a$  为方波导半宽度),在接近透镜处放置平面输出镜,此时光束穿越波导口与自由空间的耦合损耗最小。实验中焦距为 190 mm 的两面镀增透膜 ZnSe 透镜放置在距波导口 185 mm 处,反射率为 90% 的平面 ZnSe 输出镜放置在透镜后 10 mm 处,此时接近耦合损耗最小值。

所用调 Q 晶体为美国 T-公司 的两块 5 mm × 5 mm × 25 mm 的 CdTe 晶体,切割方向是:

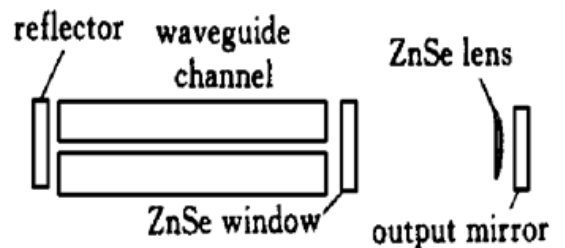


图 1 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器

Fig. 1 RF excited waveguide CO<sub>2</sub> laser

5 mm × 5 mm 端面为(110)面,上下电极面为(110)面,两侧面为(001)面。晶体两端面镀增透膜,透过率为98.9%,晶体总长为50 mm。晶体与 ZnSe 布氏窗, CdS 四分之一波片固定为一体,总长度为181 mm,布氏窗与  $\lambda/4$  波片可 360° 旋转。

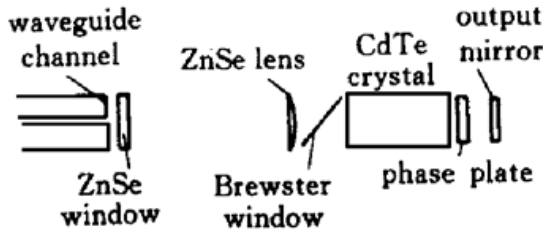


图2 采用新型谐振腔的电光调 Q 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器

Fig. 2 Electrooptically Q-switched RF excited waveguide CO<sub>2</sub> laser with a new type of resonator

实验中,透镜放置在距波导口 185 mm 处,距窗片框架 160 mm,如把调 Q 装置插入透镜与窗片之间,则透镜至少后移 21 mm,而且 CdTe 晶体折射率为 2.67,光程增加,则透镜与波导口远离最佳匹配位置,耦合损耗很大,不能产生激光输出。为此把调 Q 装置放在透镜与输出镜之间,形成如图 2 所示的波导谐振腔。近似的理论分析如下,在波导口面上可将 EH<sub>11</sub> 模按自由空间的厄米-高斯函数展开,其中束腰为  $w_0 = 0.7032a$  的 TEM<sub>00</sub> 模高斯光束,包含 EH<sub>11</sub> 模总能量的 97%,所以可用来近似自由空间传播的 EH<sub>11</sub> 模<sup>[7]</sup>。束腰在波导口处的高斯光束,经过焦距为  $F$  的透镜后,其像方高斯光束束腰位置

及大小可表示为<sup>[8]</sup>

$$l' = F + \frac{(l - F)F^2}{(l - F)^2 + f^2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{w_0'^2} = \frac{1}{w_0^2} \left[ 1 - \frac{l}{F} \right]^2 + \frac{f^2}{F^2} \quad (2)$$

其中  $l$  为波导口与透镜之间的距离,在距透镜  $l_c$  处,高斯光束等相位面曲率半径可表示为

$$R = (l_c - l') \left[ 1 + \frac{f^2}{(l_c - l')^2} \right] \quad (3)$$

在未插入调 Q 装置时,代入实验条件可得出  $R \rightarrow \infty$ ,所以采用平面输出镜接近最佳耦合值,而插入调 Q 装置后,实际光程将增加为

$$l_c' = l' + (n_a - 1)d_a + (n_c - 1)d_c + (n_b - 1)d_b \quad (4)$$

其中,  $n_a, d_a; n_c, d_c; n_b, d_b$  分别为光束通过布氏窗、晶体及波片的折射率和长度。根据 ABCD 定律可计算出平面输出镜与透镜之间插入调 Q 装置后,输出镜位置处高斯光束等相位面曲率半径  $R' = 470$  mm。由于目前没有此种半径的输出镜,我们采用平面输出镜代替。

### 3 实验结果及讨论

实验中,激光器工作气体比例为 CO<sub>2</sub> · N<sub>2</sub> · He = 1 · 1 · 3,充气气压为 8 kPa,射频注入功率 200 W,射频源频率 120 MHz。当输出镜距透镜 10 mm 时,激光输出功率为 10 W。输出镜拉远到距透镜 190 mm 时,激光输出功率为 8 W。插入调 Q 装置后,旋转布氏窗,使透射光偏振方向垂直于波导侧壁,再旋转四分之一波片,使光轴方向平行于光偏振方向。此时激光连续输出功率降至 3.5 W。再旋转波片光轴方向 45° 角,在调 Q 晶体加上方波调制脉冲电压,即可获得调 Q 脉冲激光输出。

在调 Q 运转状态下,脉冲重复频率在 1 Hz ~ 10 kHz 可调,晶体所加  $\lambda/4$  电压为 2.65 kV。在脉冲重复频率为 10 kHz 时,脉冲激光输出经衰减后,由液氮冷却的光伏 HgCdTe 探测器测量脉冲波形,其带宽为 300 MHz。用带宽为 1 GHz 的 TDS684A 数字存储示波器显示光脉冲波

形, 实验装置如图 3 所示, 显示结果如图 4 所示。由于未采取屏蔽措施, 加在晶体上的方波电压干扰也同时显示出来, 其中最前一组振荡波形为方波电压脉冲上升沿顶部干扰, 中间为调  $Q$  激光脉冲波形, 最后一组振荡波形为方波电压脉冲下降沿底部干扰。激光脉冲宽度为  $400 \text{ ns}$ , 调  $Q$  光脉冲建立时间为  $1.2 \mu\text{s}$ , 加在晶体上  $\lambda/4$  电压脉冲宽度为  $3.2 \mu\text{s}$ , 采用 Coherent 公司 model201 功率计测得平均功率为  $0.8 \text{ W}$ , 可得出光脉冲峰值功率为  $200 \text{ W}$ ,  $\lambda/4$  方波电压宽度大于  $2 \mu\text{s}$  时, 电压脉冲宽度对激光脉冲宽度影响不大。

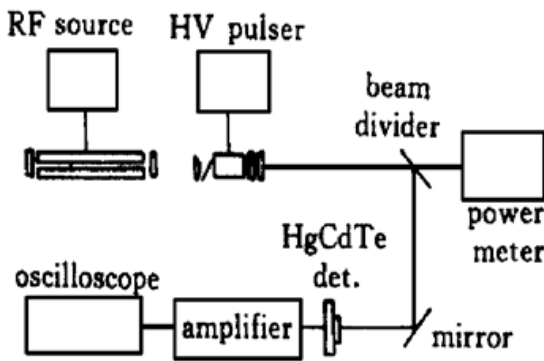


图 3 实验装置简图

ig. 3 The schematic diagram of the experimental arrangement

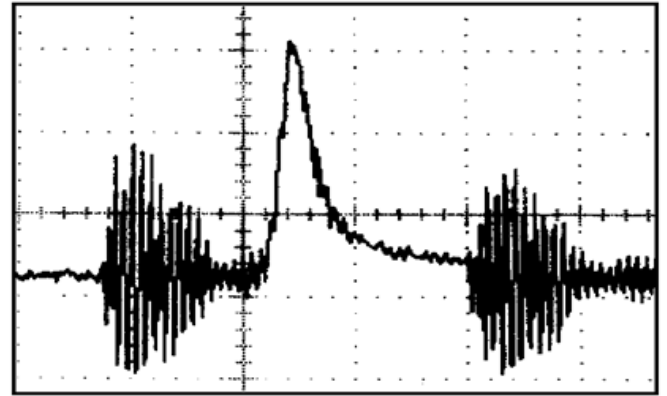


图 4 激光脉冲波形(脉冲重复频率  $10 \text{ kHz}$ ,  $1 \mu\text{s}/\text{div}$ )和电压脉冲干扰信号

Fig. 4 The laser pulse waveform at a pulse repetition rate of  $10 \text{ kHz}$  ( $1 \mu\text{s}/\text{div}$ ) and the interference of the voltage pulse

实验中, 根据实际情况, 我们采用如图 2 所示的波导谐振腔进行了电光调  $Q$  实验。根据透镜距波导口的最佳焦距及距离为  $f = \pi w_0^2/\lambda$ , 可计算出对于越小的波导口径, 透镜距波导口越近, 则采用文中所述波导谐振腔越具有优势。根据近似理论分析, 插入晶体后, 输出镜曲率半径应为  $470 \text{ mm}$ , 由于目前没有此种半径的输出镜, 采用平面输出镜代替, 这样会增加腔内损耗, 减小激光输出功率。如果晶体外壳尺寸可以减小, 则可以放置在输出窗与透镜之间, 调节平面输出镜贴近透镜并与波导口的距离为最佳, 激光输出功率将会增加, 激光脉冲宽度将会缩小。另外调  $Q$  电源脉冲重复频率最高为  $10 \text{ kHz}$ , 如果采用更高重复频率的电源, 调  $Q$  脉冲激光重复频率会更高。

### 参 考 文 献

- 1 Henrik Ahlberg, Stefan Lundqvist, Dietmar Letalick *et al.*. Imaging  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  laser radar with heterodyne detection: design and evaluation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17): 2891~ 2897
- 2 Harley V. Piltingsrud.  $\text{CO}_2$  laser for lidar applications, producing two narrowly spaced independently wavelength-selectable  $Q$ -switched output pulses. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(27): 3952~ 3963
- 3 G. N. Pearson, B. J. Rye. Frequency fidelity of a compact  $\text{CO}_2$  Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(30): 6475~ 6484
- 4 S. Marcus, G. M. Carter. Electrooptically  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  waveguide laser. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(16): 2824~ 2826
- 5 S. Marcus. Compact electrooptically  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  waveguide laser. *Rev. Sci. Instrum.*, 1981, **52**(3): 482~ 483
- 6 L. M. Laughman, R. J. Wayne, C. R. Lane. Programmable transmitters for coherent laser radars. *SPIE*, 1981, **300**: 163~ 172

- 7 D. R. Hall, C. A. Hill. Handbook of Molecular Laser. Edited by P. K. Cheo, New York: Marcel Dekker, 1987. 165~ 258
- 8 Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Jiahua *et al.*. Theory of Laser. The first edition. Beijing: National Defence Industry Press, 1987. 98~ 117 (in Chinese)

## Electrooptically $Q$ -switched RF Excited CO<sub>2</sub> Waveguide Laser

Wang Qi Tian Zhaoshuo Wang Yusan He Weiming Wang Chunhui

(*National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

**Abstract** An electrooptically  $Q$ -switched RF excited CO<sub>2</sub> waveguide laser is presented. The waveguide length is 400 mm. The cw output power of 3.5 W has been achieved with the electrooptic crystal without pulse voltage, mounted within the waveguide. The  $Q$ -switched pulse repetition rate is 1 Hz~ 10 kHz. The peak power of 200 W and the pulse width of 400 ns have been obtained at the pulse repetition rate of 10 kHz.

**Key words** electrooptically  $Q$ -switched, CdTe crystal, RF excited CO<sub>2</sub> waveguide laser