

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0087-03

# 共电极折叠腔窄脉冲射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器设计分析

田兆硕<sup>1</sup>, 王鹏华<sup>2</sup>, 慕金龙<sup>1</sup>, 王 骥<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001; <sup>2</sup>黑龙江省旅游学校, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要** 报道了共电极折叠腔电光腔倒空射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器的设计方案, 为在限定激光器体积的前提下大幅度地提高激光的输出功率, 主振激光采用了 Z 折叠腔结构以及电光腔倒空方式输出激光。本振通道采用单通道结构。此激光器结构可以提高外差频率稳定度。理论分析了控制电光腔倒空过程激光输出波形的方法。

**关键词** 激光技术; 折叠腔; 电光腔倒空; 射频激励; 波导 CO<sub>2</sub> 激光器

中图分类号 TN248.2\*2

文献标识码 A

## Design and Analysis of Shot Pulse Z-Fold RF Waveguide CO<sub>2</sub> Laser with Common Electrode

TIAN Zhao-shuo<sup>1</sup>, WANG Peng-hua<sup>2</sup>, MU Jin-long<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Helongjiang 150001, China;  
<sup>2</sup>Travel junior college of Hei Longjiang Province, Harbin, Helongjiang 150086, China)

**Abstract** Design of electro-optically cavity-dumped Z-fold RF waveguide CO<sub>2</sub> laser with common electrode is presented. The structures of Z-fold and cavity dump are used for the transmitter laser to improve laser output power greatly at the condition of limited size. The construction of single channel is used for the local laser. The two channels are excited by the same RF source. This kind of structure is helpful for improving the heterodyne frequency stabilization. In addition, the control method for the laser waveform of cavity dumps is analyzed in theory.

**Key words** laser technique; Z-fold; electro-optically cavity dump; RF excited, waveguide CO<sub>2</sub> laser

## 1 引言

我们已报道了电光调 Q 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器<sup>[1-3]</sup>, 峰值功率为 300 W, 脉冲宽度为 150 ns, 脉冲重复频率为 10 kHz。但是在限定激光器体积的前提下, 如果要继续提高激光的输出功率, 采用单通道结构非常困难, 因此我们采用折叠腔的设计方案以解决这个问题。另外电光调 Q 输出的激光脉冲较宽 (150 ns 左右), 对于某些方面的应用, 如激光测距, 会影响测距精度, 并且存在激光脉冲拖尾, 浪费了一定的激光能量。本文设计的激光器采用腔倒空工作方式, 其优点是脉冲宽度可调并且脉宽窄、峰值功率高、无脉冲拖尾。为提高外差频率稳定度, 本振通道与主振通道采用共电极结构。主振通道采用折叠腔的设计方案, 这样可以在限定激光器体积的前提下大幅度地提高主振激光的输出功率, 而本振激光继续采用单通道, 以保证频率稳定度。

## 2 激光器设计结构

折叠腔电光腔倒空射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器设计结构如图 1 所示, 上下铝电极压紧 5 片 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷片构成主振激光 Z 折叠结构、本振单通道结构。电极上并联多个谐振电感, 谐振于射频源频率, 并保持电压分布均匀。波导尺寸为 2.25 mm×2.25 mm, 每一通道放电长度为 430 mm, 折叠角为 4.5°, 采用氟橡胶 O 型圈密封并可以微调反射镜角度。为了将来在腔内加调制晶体, 主振通道采用等效第二类波导谐振腔结构, 经过计算耦合损耗最小的反射镜曲率半径为 370 mm, 根据现有条件, 我们用焦距为 185 mm 的 ZnSe 透镜与平面反射镜替代, 其中 ZnSe 透镜两面镀增透膜, 透过率为 99%, ZnSe 平面反射镜反射率为 98%。

采用第二类波导谐振腔结构, 在腔内插入调制晶体、布氏窗及 λ/4 波片, 其中 λ/4 波片的光轴方向

**作者简介:** 田兆硕(1970.12-), 男, 哈尔滨工业大学副教授, 博士。主要从事激光技术和激光雷达等方面的研究。

E-mail: tianzhaoshuo@0451.com

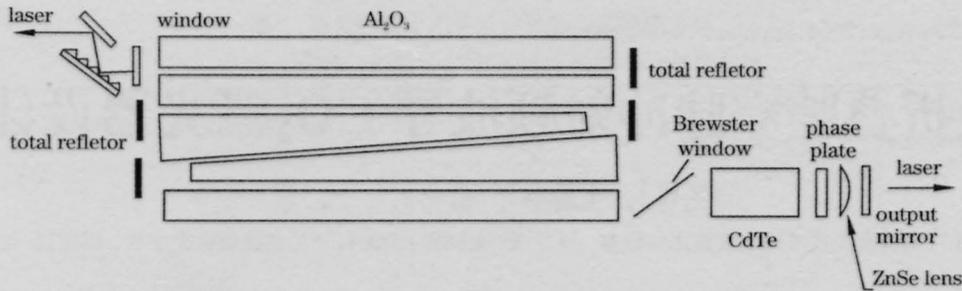


图1 激光器结构图

Fig.1 Structure of the laser

与布氏窗决定的偏振方向成 45°角, 经过分析可知晶体上加 λ/4 电压时, 腔内形成激光振荡, 退压时可以从布氏窗侧面获得腔倒空激光输出, 如果去掉 λ/4 波片, 则晶体上为低电压时获得激光振荡, 升压时可以从布氏窗侧面获得腔倒空激光输出, 但晶体上电压需要升至 λ/2 电压。整个电极放入不锈钢水冷真空容器内, 谐振腔的平面全反镜与折叠处的平面全反镜压紧氟橡胶“O”形圈进行密封, 并可以进行角度调节。

### 3 激光输出计算

通过加装与取消 λ/4 波片, 可以使激光器处于“退压”或“升压”腔倒空工作方式, 以“退压”腔倒空为例, 理论分析激光输出波形。在“倒空”阶段是一个起偏方向与检偏方向垂直的电光调 Q 调制系统, 布氏窗的反射率 R(t) 随加在晶体上的电压 V<sub>i</sub> 变化, 是时间的函数, 简化电压脉冲如图 2 所示, 因此在 V<sub>i</sub> 的下降段, 可把 R(t) 近似成 t 的线性函数波形

$$R(t) = \begin{cases} t/\tau_d, & (0 \leq t < \tau_d) \\ 1, & (t \geq \tau_d) \end{cases} \quad (1)$$

式中 τ<sub>d</sub> 表示 V<sub>i</sub> 下降时间, 时间 t 的零点取在 V<sub>i</sub> 下降始点。实际上加在晶体上的电压脉冲上升与下降时

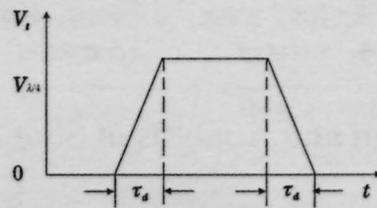


图2 晶体上电压简化表示图

Fig.2 Simplified shape of the pulse voltage on the crystal

间与脉冲电源的设计有关, 可以通过调节电源负载的电容或电阻改变电压脉冲上升与下降时间。谐振腔的光学长度为

$$L = l + (n_a - 1)d_a + (n_c - 1)d_c + (n_b - 1)d_b \quad (2)$$

其中 l 为全反镜到输出镜距离, n<sub>a</sub>, d<sub>a</sub>; n<sub>c</sub>, d<sub>c</sub>; n<sub>b</sub>, d<sub>b</sub> 分别为光束通过布氏窗、晶体及波片的折射率及长度, 根据设计的激光器结构, 计算得出 L = 1.5 m。光在腔内传播一个来回所需的时间 τ<sub>L</sub> = 2L/c = 10 ns, 设电压下降时间 τ<sub>d</sub> 可调, 并且

$$\tau_d = n\tau_L + \tau_m \quad (3)$$

式中 τ<sub>m</sub> 为剩余时间。假设在腔倒空过程中, 光在腔内传播一个来回所得的增益与损耗相等, 则输出激光功率 P 的时间特性可表示为

$$P(t) = \begin{cases} P_0 \frac{t}{\tau_d} & 0 \leq t \leq \tau_L \\ P_0 \left(1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d}\right) \frac{t}{\tau_d} & \tau_L \leq t \leq 2\tau_L \\ P_0 \left(1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d}\right) \left(1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d}\right) \frac{t}{\tau_d} & 2\tau_L \leq t \leq 3\tau_L \\ P_0 \left(1 - \frac{t - 3\tau_L}{\tau_d}\right) \left(1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d}\right) \left(1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d}\right) \frac{t}{\tau_d} & 3\tau_L \leq t \leq 4\tau_L \\ \dots\dots\dots \\ P_0 \left[1 - \frac{t - (n-1)\tau_L}{\tau_d}\right] \left[1 - \frac{t - (n-2)\tau_L}{\tau_d}\right] \dots\dots \left(1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d}\right) \frac{t}{\tau_d} & (n-1)\tau_L \leq t \leq n\tau_L \\ P_0 \left[1 - \frac{t - (n-1)\tau_L}{\tau_d}\right] \left[1 - \frac{t - (n-2)\tau_L}{\tau_d}\right] \dots\dots \left(1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d}\right) & n\tau_L \leq t \leq \tau_d + \tau_m \end{cases} \quad (4)$$

其中在前  $n-1$  式中, 每一式表示从布氏窗透过的  $P$  方向的偏振光在腔内循环一周, 部分变成  $S$  方向的偏振光又从布氏窗反射的激光功率。第  $n$  式表示第  $n-1$  周中, 在  $\tau_d - (n-1)\tau_L$  时间内透过布氏窗的激光在腔循环一周, 又从布氏窗全部反射的激光功率。设腔倒空发生前腔内激光功率  $P_0=1$ ,  $\tau_d$  分别为  $3\tau_L$ ,  $3\tau_L, 4\tau_L, 5\tau_L$  时计算出的脉冲波形如图 3 所示, 可以看出随电压下降时间  $\tau_d$  的增加, 峰值功率逐渐减小, 脉冲宽度增加。计算结果如表 1 所示。

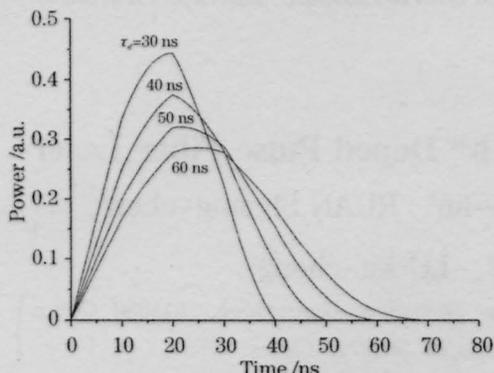


图 3 不同退压时间的腔倒空激光输出计算波形

Fig.3 The calculated laser cavity-dumped waveform with different times of decreased voltage

表 1 退压方式腔倒空计算结果

Table 1 Calculated results for cavity dump at the condition of decreased voltage

| $\tau_d$ / ns | Pulse width | Peak power / a.u. |
|---------------|-------------|-------------------|
| 30            | 23          | 0.440             |
| 40            | 27          | 0.375             |
| 50            | 31          | 0.321             |
| 60            | 34          | 0.286             |

对于升压腔倒空工作方式可以得到相同的结果, 因此可以通过调节晶体上升压或降压时间的方法控制激光的输出波形。

#### 4 外差频率稳定度计算

根据理论分析, 激光器的频率漂移  $\Delta\nu$  受腔长变化  $\Delta L$  及工作气体折射率变化  $\Delta n$  的影响可表示为

$$\Delta\nu = -\nu_0 \left( \frac{\Delta n}{n_0} + \frac{\Delta L}{L} \right) \quad (5)$$

式中  $n_0$  为工作气体折射率平均值,  $L$  为腔长。由于采用共电极结构, 并且两通道间距较近, 所以加在两通道上的电压相等, 当射频注入功率变化时, 两通道气体放电等离子体折射率变化相等, 使两通道激光外差频率几乎不受电源功率变化的影响。腔长的变化主要受气体放电发热、外界温度变化等因素的影响。假定不锈钢材料的线膨胀系数为  $\alpha$ , 则

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \tau \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

$\tau$  为观察时间,  $dT/dt$  是材料温度随时间变化率。对不锈钢  $\alpha = 15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。设激光器的两通道腔长分别为  $L_1, L_2$ , 在本激光器中  $L_1 = 3L_2$ , 假若由于气体放电发热、外界温度变化, 致使不锈钢的温度变化速率是每分钟起伏  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 由(5)式, (6)式可得出对于本振通道激光频率变化  $\Delta\nu_1 = 43 \text{ MHz}$ , 对于主振通道激光频率变化  $\Delta\nu_2 = 14.3 \text{ MHz}$ 。由于光栅与平面输出镜固定在同一底座上, 两底座相对放置, 固定在激光器外壳两端, 因此气体放电发热、外界温度变化时, 腔长变化相等, 由(5)式, (6)式可得出两通道激光外差频率变化

$$\Delta\nu_c = \nu_0 \Delta L \left( \frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2} \right) \quad (7)$$

则当温度变化速率为每分钟起伏  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $L_1 = 3L_2$  时,  $\Delta\nu_c = 28.7 \text{ MHz}$ , 可见两通道激光外差频率变化小于本振通道激光频率变化, 所以此种共电极双通道结构的激光器可以提高外差频率稳定度。

#### 参考文献

- 1 Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Yusan. Study of tunable output electrooptically Q-switched RF Excited CO<sub>2</sub> Waveguide Laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(6):505-508  
田兆硕, 王 骐, 王雨三. 输出可调的电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器的研究[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(6):505-508
- 2 Wang Qi, Tian Zhaoshuo, Wang Yusan et al. Electrooptically Q-switched RF Excited CO<sub>2</sub> Waveguide Laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(2): 97-100  
王 骐, 田兆硕, 王雨三等. 电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(2):97-100
- 3 Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Yusan et al. Study of electrooptically Q-switched RF excited CO<sub>2</sub> waveguide laser with Line selected by grating [J]. *J. Optoelectronics·Laser*, 2000, **11**(3):282-284  
田兆硕, 王 骐, 王雨三等. 光栅选支电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器研究[J]. *光电子·激光*, 2000, **11**(3):282-284