

文章编号 : 0258-7025(2001)06-0505-04

输出可调的电光调 Q 射频激励波导 CO_2 激光器的研究

田兆硕 王 骐 王雨三

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室 哈尔滨 150001)

提要 研究了输出可调的光栅选支电光调 Q 射频激励波导 CO_2 激光器,可以通过调节电光晶体上的电压来调节调 Q 激光脉冲峰值功率、脉冲宽度、脉冲建立时间,理论分析与实验结果一致。同时采用另外一种激光器结构提高了激光输出功率。

关键词 电光调 Q , 射频波导 CO_2 激光器 输出可调

中图分类号 TN 248.2⁺2 文献标识码 A

Study on Electrooptically Q -switched RF Excited CO_2 Waveguide Laser with Tunable Output

TIAN Zhao-shuo WANG Qi WANG Yu-san

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

Abstract In this paper, an electrooptically Q -switched RF excited CO_2 waveguide line-selected laser with tunable output is demonstrated. Peak power, setup time and pulse width of the laser pulses can be tuned by adjusting the electrical voltage on the crystal. Theoretical and experimental results are consistent. A simplified construction is proposed to improve the laser output power.

Key words electrooptically Q -switched, RF excited CO_2 waveguide laser, tunable output

1 引言

目前有关电光调 Q CO_2 激光器的报道多采用固定输出^[1~5],不易调节脉冲激光的峰值功率、脉冲宽度等输出激光的参数。本文报道了输出可调的光栅选支电光调 Q 射频波导 CO_2 激光器,可以通过调节电光晶体上的电压来调节调 Q 脉冲激光的峰值功率、脉冲宽度、脉冲建立时间,并且加在晶体上的电压小于一般电光调 Q 所需的四分之一波电压。同时我们采用了另外一种激光器结构提高了激光输出功率。

mm,光栅放置在距波导口 10 mm 处,光栅常数为 150 lines/mm。一级反射率为 95%,可用氟橡胶 O 型圈调节角度。

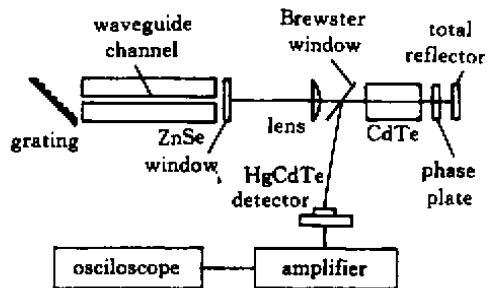


图 1 输出可调电光调 Q 射频波导 CO_2 激光器结构
Fig.1 Electrooptically Q -switched RF excited waveguide CO_2 laser of tunable output

2 激光器设计

光栅选支电光调 Q 射频波导 CO_2 激光器结构如图 1 所示,波导尺寸为 400 mm \times 2.25 mm \times 2.25

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

$f = \pi\omega_0^2/\lambda = 185 \text{ mm}$ 的透镜,放置在距波导口 f 处,其中 $\omega = 0.7032a$ (a 为方波导半宽度),实验中,利用焦距为 190 mm 的两面镀增透膜 ZnSe 透镜放置在距波导口 185 mm 处,把调 Q 装置放在透镜与反射率为 99% 的全反镜之间,调 Q 装置由 ZnSe 布氏窗, CdTe 晶体, CdS 四分之一波片组成。实验测得晶体 $\lambda/4$ 电压为 2.7 kV ,其中布氏窗镀有偏振介质膜, P 方向透过率为 97% , S 方向反射率为 99% ,调 Q 脉冲激光从布氏窗侧向输出。脉冲激光输出经衰减后,由液氮冷却带宽为 300 MHz 的光伏 HgCdTe 探测器及带宽 1 GHz 的美国 TDS684A 数字存储示波器测量脉冲激光波形。

3 理论分析

旋转 $\lambda/4$ 波片,使其光轴与 P 方向夹角为 45° ,再逐渐增加晶体上的电压,布氏窗的等效输出透过率为

$$T = 0.99\cos^2\varphi \quad (1)$$

式中 φ 为通过晶体的两偏振光相位差

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \frac{V}{V_{\lambda/4}} \quad (2)$$

式中 V 为晶体上的电压, $V_{\lambda/4}$ 为晶体的 $\lambda/4$ 电压。

电光 Q 开关 CO_2 激光器的速率方程组可表示为如下形式^[3]

$$\begin{cases} \frac{d\phi}{dt} = (n_J - n_{J'} - 1)\phi + \frac{n_J}{N_{\text{th}}^V} \\ \frac{dn_J}{dt} = (n_J - n_{J'})\phi + (P_J n_{J'} - n_J)k_J \\ \frac{dn_{J'}}{dt} = (n_J - n_{J'})\phi + (P_J n_{J'} - n_{J'})k_{J'} - n_{J'}k'' \\ \frac{d(n_{J'} - n_J)}{dt} = (n_J - P_J n_{J'})k_J \\ \frac{d(n_{J'} - n_{J'})}{dt} = (n_J - P_J n_{J'})k_{J'} - (n_{J'} - n_J)k'' \end{cases} \quad (3)$$

式中 ϕ 为激光一个光波模式下的光子数, n_J 为 00^01 能级中转动量子数为 J' 的转动能级上的粒子数, $n_{J'}$ 为激光振动上能级 (00^01) 粒子数, $n_{J''}$ 为 10^00 能级中转动量子数为 $J'' = J' + 1$ 的转动能级上的粒子数, $n_{J''}$ 为激光振动下能级 ($10^00, 02^00$) 粒子数, k_J 为转动能级弛豫速率, k'' 为振动下能级 ($10^00, 02^00$) 的粒子弛豫到其他振动态的弛豫速率。在上面的方程中,所有粒子数和光子数均以上能级阈值反转粒子数 N_{th}^V 为度量单位,所有的速率均以腔寿命 t_c 为度量单

位。

激光在腔内寿命可表示为

$$t_c = L'/\delta c \quad (4)$$

式中 δ 为激光在腔内的单程损耗, L' 为腔的光学长度, c 为真空中的光速。

在激光脉冲建立时,激光下能级的粒子数密度 $n_{J'}$ 与激光上能级粒子数密度相比很小,可以忽略,于是阈值反转粒子数为

$$N_{\text{th}}^V = \delta/L\sigma_{se} \quad (5)$$

式中 σ_{se} 为受激辐射截面, L 为增益长度。

P_J 为上、下能级在初始状态下的玻尔兹曼分布

$$P_J = \frac{(2J+1)}{Q_{\text{rot}}} \exp\left[-\frac{hcBK(J+1)}{kT}\right] \quad (6)$$

式中 Q_{rot} 为转动配分函数, B 为转动常数。

00^01 振动模上粒子数的初值可由如下的激光上能级粒子数关系式给出

$$n_{J'} = n_J/P_J \quad (7)$$

光子从激光腔中耦合到腔外的速率由 $c\bar{\alpha}_{\text{out}}$ 给出,并有

$$\bar{\alpha}_{\text{out}} = -\ln(1-T)/2L' \quad (8)$$

于是有用的输出功率为

$$P_{\text{out}} = \phi h\nu c \bar{\alpha}_{\text{out}} N_{\text{th}}^V \quad (9)$$

4 实验结果与理论比较

实验中,激光器工作气体比例 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1:3$,充气气压 8 kPa ,射频注入功率 200 W ,射频源频率 120 MHz 。从布氏窗侧面激光连续输出功率为 1.5 W 。在调 Q 运转状态下,脉冲重复频率 $1 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$ 可调,在脉冲重复频率为 10 kHz 时,逐渐增加晶体上电压,当电压增加到一定值时可以观察到激光脉冲输出,调 Q 脉冲激光波形随晶体所加电压而变化。典型的调 Q 脉冲激光波形如图 2 所示,此时加在晶体上的电压为 2.0 kV ,下面波形为晶体上方波电压脉冲,对应的上面为调 Q 激光脉冲波形,加在晶体上电压脉冲宽度 $3 \mu\text{s}$,由(1)(2)式可计算出布氏窗等效透过率为 16.4% ,获得调 Q 激光脉冲峰值功率为 150 W ,脉冲宽度为 250 ns ,光脉冲建立时间为 960 ns 。根据激光器的有关弛豫速率数据^[6,7]及激光器的测量结果,可计算出在晶体上电压为 2.0 kV 时该激光器的参数为: $N_{\text{th}}^V = 3.3 \times 10^{14}$, $t_c = 20.2 \text{ ns}$, $\delta = 17\%$, $P_J = 0.064$, $\Phi_0 = 5 \times 10^{-15}$, $k_{J'} = k_J = 10.43$, $k'' = 0.129$, $n_J|_{t=0} = 1.6$, $n_{J'}|_{t=0}$

$= 24.8, n_r|_{t=0} = 0, n_v|_{t=0} = 19$ 。代入方程组(3), 用 Runge-Kutta 方法进行数值计算, 可得到如图 3 所示的激光脉冲波形, 计算出调 Q 激光脉冲建立时间为 $t_D = 1020$ ns, 脉冲宽度为 $\Delta t = 205$ ns, 峰值功率为 $P_{peak} = 145.3$ W。

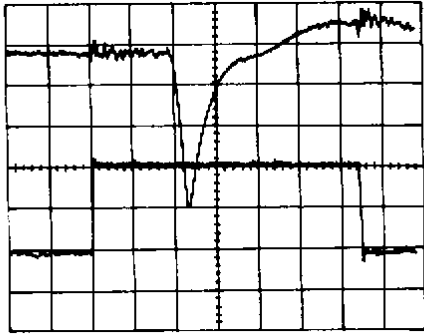


图 2 激光脉冲波形和电压脉冲信号

Fig.2 Laser pulse waveform and signal of voltage pulse

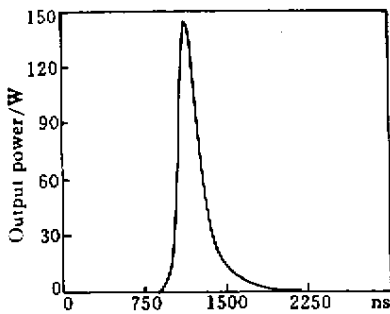


图 3 调 Q 激光脉冲波形理论计算值

Fig.3 Theoretical waveform of Q-switched laser pulse

当加在晶体上的方波电压变化时, 由(1)(2)式可知 相当于布氏窗等效输出率的变化。再由(3)式可计算出调 Q 脉冲激光峰值功率、脉冲建立时间、脉冲宽度随布氏窗等效输出率变化的曲线。理论与实验结果的比较如图 4 所示, 图中曲线为理论值, 图中的点为实验测量值。可见实验测得的调 Q 激光峰值功率、脉冲建立时间、脉冲宽度与理论计算一致。

5 提高激光输出功率的方法

采用如图 1 所示的激光器结构虽然可以方便地调节调 Q 激光脉冲峰值功率、脉冲宽度、脉冲建立时间, 但是由于透镜、镀有偏振介质膜的布氏窗及四分之一波片损耗较大, 所以激光输出功率较低。为了提高激光输出功率, 可以采用如图 5 所示的激光

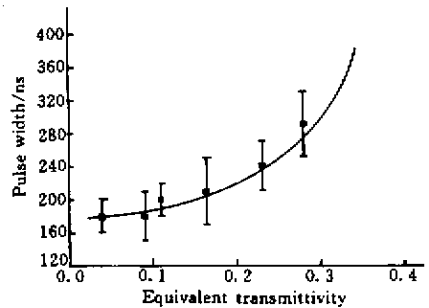
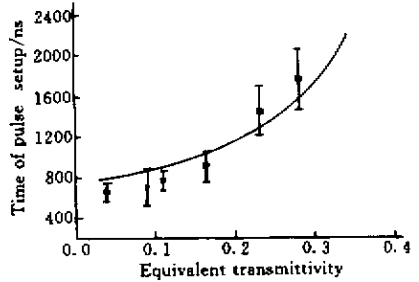
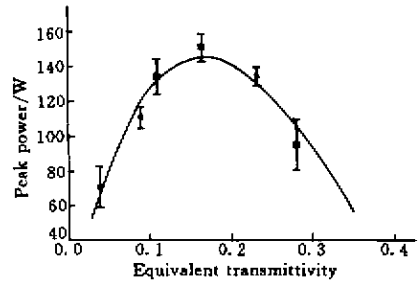


图 4 调 Q 脉冲激光峰值功率、脉冲建立时间、脉冲宽度随布氏窗等效输出率变化

Fig.4 Peak power, setup time and pulse width of Q-switched laser pulse vs equivalent transmittivity of Brewster window

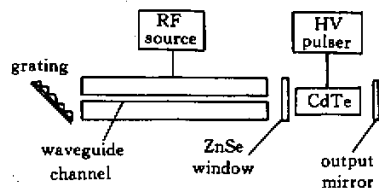


图 5 电光 Q 开关射频波导 CO₂ 激光器

Fig.5 Q-switched RF excited waveguide CO₂ laser

器结构, 把 CdTe 电光晶体放置在输出窗与输出镜之间, ZnSe 输出窗反射率为 90%。采用退压电光调 Q 方式, 当晶体未加电压时, 激光连续输出功率为 2.3 W。在调 Q 晶体加上一定的方波调制脉冲电压后, 即可获得调 Q 脉冲激光输出。当加在晶体上的低电平电压脉冲宽度为 1.2 μ s 时, 实验测得调 Q 激光脉冲宽度为 125 ns, 光脉冲建立时间为 300 ns, 采用

Coherent 公司 model201 功率计测得平均功率为 0.38 W,可得出光脉冲峰值功率为 300 W。此种激光器结构更加紧凑并且输出功率高,但不易进行输出调节。

参 考 文 献

- 1 Henrik Ahlberg, Stefan Lundqvist, Dietmar Letalick. Imaging Q -switched CO_2 laser radar with heterodyne detection: design and evaluation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17) 2891 ~ 2898
- 2 G. N. Pearson, B. J. Rye. Frequency fidelity of a compact CO_2 Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(30): 6475 ~ 6484
- 3 Dietmar Letalick, Ingmar Renhom, Anders Widen. CO_2 waveguide laser with programmable pulse profile. *Opt. Eng.*, 1989, **28**(2):172 ~ 179
- 4 S. Marcus, G. M. carter. Electrooptically Q -switched CO_2 waveguide laser. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(16) 2824 ~ 2826
- 5 S. Marcus. Compact electrooptically Q -switched CO_2 waveguide laser. *Rev. Sci. Instrum.*, 1981, **52**(3) 482 ~ 483
- 6 R. R. Jacobs, K. J. Pettipiece, S. J. Thomas. Rotational relaxation rate constants for CO_2 . *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**(8) 375 ~ 379
- 7 Dai Fa, Zeng Shaoxin, He Shunhua. A method of measuring small signal gain of CO_2 lasers. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1987, **14**(6) 380 ~ 381 (in Chinese)