

声光调 Q 准波导 CO_2 激光器

李军建 王瑞峰

陈文友

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

(四川压电与声光技术研究所, 重庆 630060)

摘要 报道了采用准波导腔的声光调 Q CO_2 激光器。在激光器腔长为 515 mm 和 700 mm 的条件下, 所获得的激光脉冲最大峰值功率分别为 1100 W 和 2050 W, 最小脉宽为 100 ns, 脉冲重复频率为 0~300 kHz。对激光器的速率方程进行了计算, 其结果与实验值基本符合。

关键词 CO_2 激光器, 声光调 Q

1 引 言

Q 开关 CO_2 激光器能够产生大气传输损耗小的 10.6 μm 波长激光脉冲, 在激光测距、测速、成像雷达、通讯和驾束制导等方面具有广阔的应用前景。由于 CO_2 激光器的增益反比于放电管的内径, 饱和光强正比于气压的平方, 故目前在 Q 开关 CO_2 激光器中普遍采用放电管内径小、气压高的波导腔。但是波导腔也存在着一些问题: 首先, 波导管与腔镜之间的低损耗耦合条件^[1]比较严格, 在波导管与腔镜之间要插入调 Q 元件的情况下, 低损耗耦合更为困难; 其次, 由于放电管内径小, 气体不易冷却, 导致增益下降; 第三, 波导腔光束直径小, 腔内的调制器、布氏窗等元件需要承受很高的功率密度, 使其透射损耗急剧增加。虽然可以采取一些措施(如适当选择波导管与腔镜的耦合间距^[2], 使工作气体流动^[3]以及采用蓝宝石、氧化铍陶瓷等导热系数高、损耗小的材料制作放电管)在一定程度上解决了以上问题, 但又会使激光器不够紧凑、更为复杂和费用大为提高。王波等人的研究^[4]指出, 如果适当增大波导 CO_2 激光器的放电管内径, 可以获得较高的输出功率, 据此, 我们提出在声光 Q 开关 CO_2 激光器中采用准波导腔。这种腔的波导菲涅耳数 $N \approx 1$ ($N = a^2/l\lambda$, a , l 分别为放电管的半径和长度, λ 为光波长), 腔特性介于波导腔 ($N < 1$) 和一般腔 ($N > 1$) 之间。实验结果表明, 与腔长相近的典型波导腔声光 Q 开关 CO_2 激光器^[5]相比较, 准波导腔激光器的光脉冲峰值功率提高了近 4 倍, 脉冲宽度减小了 33%。

2 激光器的设计

设计和制作了两支不同腔长的声光 Q 开关 CO_2 激光器, 其结构如图 1 所示。激光管为半外腔全玻璃水冷结构。激光器 I 的腔长为 515 mm, 放电管的内径和长度分别为 3.8 mm 和

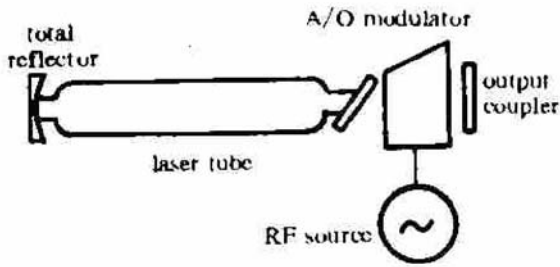


Fig. 1 Schematic diagram of the A/O Q-switched CO₂ laser

370 mm, 气压为 6.65 kPa。激光器 I 的腔长为 700 mm, 放电管的内径和长度分别为 5 mm 和 500 mm, 气压为 4.66 kPa。两种激光器的输出镜均为 18% 透过率的锗平面镜, 全反射镜为玻璃镀金凹面镜, 其曲率半径为 1 m。气体配比为 CO₂: N₂: He: Xe: H₂ = 1: 1: 7: 0.3: 0.04。布氏窗材料为 ZnSe。

声光调制器的声光介质为锗单晶体, 采用正常布拉格衍射、纵波行波工作方式, 声波方向为 [111] 晶向, 中心频率为 70 MHz, 超声换能器晶体为 36°Y 切 LN 切型。调制器 I (配用激光器 I) 换能器面积为 2.2 × 7.5 mm², 调制器 II (配用激光器 II) 的为 2.2 × 13 mm²。在 15 W 射频功率驱动下, 调制器 I 的衍射效率为 24%, 调制器 II 的为 35%。调制器的插入位置选择在腔内光束直径较小的布氏窗和输出镜之间, 以减小调制器的声渡越时间, 提高 Q 开关速度。

3 实验结果

激光器 I 和 II 在未插入调制器、放电电流为 6 mA 的条件下, 连续输出功率分别为 7.5 W 和 10.5 W; 插入调制器后, 保持放电电流和腔长与未插入调制器时的相同, 连续输出功率分别为 5 W 和 6.4 W, 输出激光模式为基模 (EH₁₁ 模)。在调 Q 运转状态下, 激光器 I 输出的光脉冲波形如图 2 所示, 1 s 时间内脉冲波形的起伏小于 1%。激光器 I 和 II 的脉冲重复频率均可在 0~300 kHz 内连续调节, 随着重复频率的增加, 光脉冲峰值功率逐渐减小, 脉宽逐渐增加, 如图 3 (激光器 I 所测数据) 所示。激光器 I 的最大峰值功率为 1.1 kW, 激光器 II 的最大峰值功率为 2.05 kW, 最小脉宽均为 100 ns。当激光器连续运转时, 在 4~10 mA 放电电流范围内, 其输出功率随着放电电流的增加而增加; 调 Q 运转下, 当激光器 I 的放电电流为 5~6 mA, 激光器 II 的放电电流为 6~7 mA 时, 脉冲峰值功率为极大值, 脉宽为极小值。声光调制器驱动电源输出的射频开关调制包络波形的后沿时间为 30 ns。在该电源驱动下, 使一束激光通过调制器并测量衍射光强的变化波形, 其下降沿时间可认为近似等于调制器的 Q 开关时间 t_s , 对于调制器 I 和 II, 所测得的 t_s 分别为 210 ns 和 260 ns。

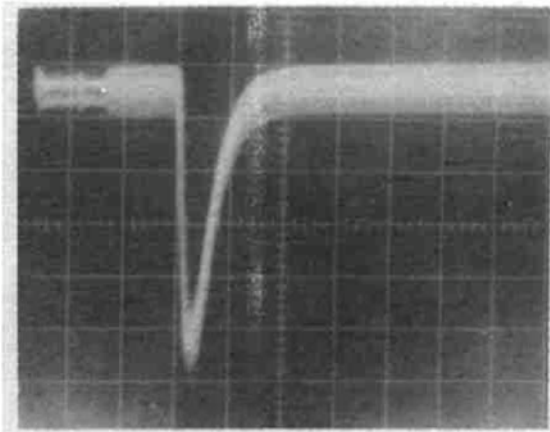


Fig. 2 The output pulse waveform of laser I operating at a pulse repetition rate of 10 kHz (0.1 μs/div.)

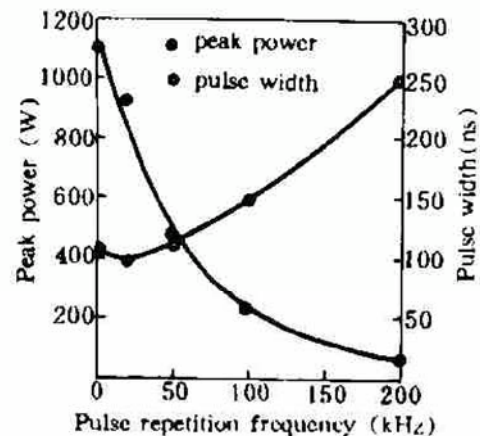


Fig. 3 Peak power and pulse width of laser I as a function of pulse repetition rate

4 激光器速率方程的计算

根据 Q 开关 CO₂ 激光器的速率方程^[2],并考虑到声光调制器开关时间 t_s 对 Q 开关过程的影响,可得到如下所示的声光 Q 开关 CO₂ 激光器的速率方程组

$$\frac{d\phi}{dt} = (n_{J'} - n_{J''} - 1)\phi - (\bar{\alpha}_2/\bar{\alpha}_1)(1 - t/t_s) + \phi_0 \quad 0 \leq t \leq t_s \quad (1)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = (n_{J'} - n_{J''} - 1)\phi + \phi_0 \quad t > t_s \quad (2)$$

$$\frac{dn_{J'}}{dt} = (n_{J''} - n_{J'})\phi + (P_{J'}n_{v'} - n_{J'})K_{J'} \quad (3)$$

$$\frac{dn_{J''}}{dt} = (n_{J'} - n_{J''})\phi + (P_{J''}n_{v''} - n_{J''})K_{J''} - n_{J''}K'' \quad (4)$$

$$\frac{d(n_{v'} - n_{J'})}{dt} = (n_{J'} - P_{J'}n_{v'})K_{J'} \quad (5)$$

$$\frac{d(n_{v''} - n_{J''})}{dt} = (n_{J''} - P_{J''}n_{v''})K_{J''} - (n_{v''} - n_{J''})K'' \quad (6)$$

式中 ϕ 为腔内一个光波模中的光子数, ϕ_0 为初始光子数, $n_{J'}$ 是 00⁰1 能级中转动量子数为 J' 的转动能级上的粒子数, $n_{J''}$ 是 10⁰0 能级中转动量子数 $J'' = J' + 1$ 的转动能级上的粒子数, $n_{v'}$, $n_{v''}$ 分别为 00⁰1 和 10⁰0 能级上的粒子数, P_J 为上、下能级在初始状态下的玻尔兹曼分布函数, K_J 是有关转动能级粒子的弛豫速率, K'' 是 10⁰0 能级粒子的弛豫速率。(1) ~ (6) 式中,所有的粒子数和光子数均以上能级临界反转粒子数 N_m^v 为度量单位,所有的速率均以腔寿命 t_c 为时间度量单位。 $\bar{\alpha}_1$ 和 $\bar{\alpha}_2$ 分别为 Q 开关处于“开”状态及“关”状态时腔内单位长度上的损耗,其值为

$$\bar{\alpha}_1 = -\frac{\ln[(1-a)^2(1-T)]}{2L} \quad (7)$$

$$\bar{\alpha}_2 = -\frac{\ln[(1-a)^2(1-T)(1-\eta)^2]}{2L} \quad (8)$$

式中, a 为腔内单程损耗, T 为输出镜的透过率, η 为声光调制器的衍射效率, L 为腔长。

测量出激光器在连续工作状态下的输出功率 P_{cw} 后,由下式计算出腔内单程损耗 a ^[6]

$$P_{cw} = \frac{14.4(1-a)^{1/2}T\{g_0l + \ln[(1-a)(1-a-T)]^{1/2}\}}{[(1-a)^{1/2} - (1-a-T)^{1/2}][1 - (1-a)^{1/2}(1-a-T)^{1/2}]} \quad (9)$$

式中 g_0 为激光器的小信号增益系数, l 为增益区长度。根据 CO₂ 激光器的有关弛豫速率数据^[7]及激光器 I 的实验结果,计算出该激光器的参数为: $a \approx 10\%$, $\bar{\alpha}_1 = 0.4 \text{ m}^{-1}$, $\bar{\alpha}_2 = 0.83 \text{ m}^{-1}$, $N_m^v = 6.5 \times 10^{14}$, $t_c = 8.4 \text{ ns}$, $t_s = 25$, $P_J = 0.071$, $\phi_0 = 3.1 \times 10^{-15}$, $K_{J'} \approx K_{J''} = 7.4$, $K'' = 1.7 \times 10^{-3}$, $n_{J'}|_{t=0} = 2$, $n_{v'}|_{t=0} = 28.2$, $n_{J''}|_{t=0} \approx 0$, $n_{v''}|_{t=0} \approx 0$, $J' = 19$ 。

利用龙格-库塔法对(1)~(6)式进行数值计算,得到激光器 I 的腔内光子数和有关能级粒子数随时间变化的曲线,如图 4 所示。

激光器输出的激光脉冲峰值功率由下式计算

$$P_{\text{peak}} = \phi_{\text{max}} h\nu c \bar{\alpha}_{\text{out}} N_m^v \quad (10)$$

ϕ_{max} 为腔内最大光子数, $c\bar{\alpha}_{\text{out}}$ 为光子耦合到腔外的速率,并有

$$\bar{\alpha}_{\text{out}} = -\frac{\ln(1-T)}{2L} \quad (11)$$

计算出调 Q 光脉冲的建立时间为 404 ns(实际值为 460 ns),脉宽为 60 ns,峰值功率为 870 W,

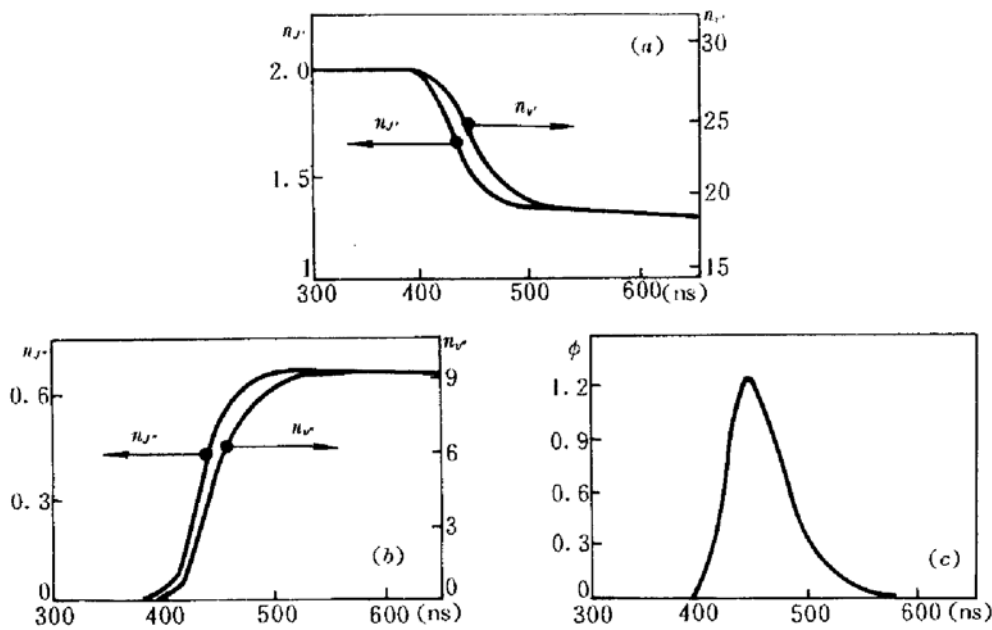


Fig. 4 Calculated curves of population concerned and in-cavity photon number versus time for laser I

与实验值比较接近。

致谢 电子科技大学的张小军、洪永和对作者的实验工作给予了很多帮助,在此致谢。

参 考 文 献

- 1 M. L. 斯蒂琪主编, 激光手册 翻译组译. 激光技术和应用的进展. 激光手册, 第七分册. 北京: 科学出版社, 1986. 46~75
- 2 Letalick, Dietmar, Renhorn *et al.*. CO₂ waveguide laser with programmable pulse profile. *Opt. Eng.*, 1989, 28(2) : 172~179
- 3 S. Marcus, G. M. Carter. Electrooptically Q-switched CO₂ waveguide laser. *Appl. Opt.*, 1989, 18(16) : 2824~2826
- 4 王 波, 王瑞峰, 裘明信. 内腔式 CO₂ 激光器工作状态的研究. 中国激光, 1987, 14(12) : 714~717
- 5 杨大林, 贺耀坤, 时顺森. 声光 Q 开关波导 CO₂ 激光器. 激光技术, 1991, 15(1) : 9~13
- 6 王瑞峰. 分子激光器. 1984. 见: 蔡伯荣 主编. 激光器件(修订本). 长沙: 湖南科学技术出版社. 64
- 7 Cheo P. K., A. K. Levine, A. J. Demaria Ed. New York: Maroel Dekker, 1971. 121~184

An Acousto-optic Q-switched CO₂ Quasi-waveguide Laser

Li Junjian Wang Ruifeng

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Chen Wenyong

(Sichuan Institute of Piezoelectric and Acousto-optic Technology, Chongqing 630060)

Abstract An acousto-optic Q-switched CO₂ laser with a quasi-waveguide cavity has been developed. The maximum peak powers of the laser of 1.1 kW and 2.05 kW have been obtained for the cavity lengths of 515 mm and 700 mm respectively. The minimum pulse width was 100 ns, and the pulse repetition rate was 0~300 kHz. The calculated results of rate equations of the laser were approximately consistent with the experimental values.

Key words CO₂ laser, Q-switching, acousto-optic