

电光腔倒空与调 Q 射频波导 CO_2 激光器

田兆硕 王 骐 王雨三

(哈尔滨工业大学电子科学与技术系可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要 报道电光腔倒空与调 Q 射频波导 CO_2 激光器, 获得了电光腔倒空与调 Q 脉冲激光输出, 并用调节电光晶体电压的方法控制腔倒空与调 Q 脉冲激光峰值功率; 调节晶体电压脉冲宽度, 可控制腔倒空与调 Q 激光的脉冲间隔, 达到编程输出的目的。理论上分析了电光腔倒空过程。

关键词 电光腔倒空, 调 Q , 射频波导 CO_2 激光器。

电光 Q 开关及腔倒空 CO_2 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、成像制导等方面^[1~3]。电光调 Q 和腔倒空 CO_2 激光器在国外已有研究结果报道^[4~7]。本文介绍了电光腔倒空与调 Q 射频波导 CO_2 激光器的研究。

1 实验装置与原理分析

电光腔倒空与调 Q 射频波导 CO_2 激光器结构如图 1 所示, 上、下铝电极与两片 Al_2O_3 陶瓷构成截面为 $2.25 \text{ mm} \times 2.25 \text{ mm}$ 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, 硅全反射镜距波导口 10 mm 处, 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%。透过率为 99% 的 ZnSe 透镜距波导口 190 mm , 距反射率为 98% 的平面全反射镜 190 mm 。把调 Q 装置放在透镜与平面全反射镜之间, 调 Q 装置由 ZnSe 布氏窗、 CdTe 晶体、 CdS 四分之一波片组成, 布氏窗与 $\lambda/4$ 波片可 360° 旋转。其中布氏窗镀有偏振介质膜, p 方向偏振光透过率为 97%, 反射率为 2%, s 方向偏振光反射率为 99%。晶体未加电压时, 通过晶体的偏振光方向不变。 $\lambda/4$ 波片光轴旋转至与 p 方向夹角 45° 位置, 晶体加四分之一波电压($V = V_{\lambda/4}$) 时, 腔内总损耗最小, 谐振腔内迅速建立激光振荡, 达到功率 P_0 , V 迅速由 $V_{\lambda/4}$ 跃变为零, 腔内已形成的激光振荡两次通过 CdTe 晶体与 $\lambda/4$ 波片, 偏振面旋转 90° , 变成 s 方向的偏振光, 由布氏窗侧面反射至腔外。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, 等效布氏窗的反射率 $R(t)$ 随 V 变化, 是时间的函数, 激光器的等效光路示于图 2, 等效布氏窗输出 $R(t)$ 应为

$$R(t) = 0.02\sin^2\phi + 0.99\cos^2\phi \quad (1)$$

式中 ϕ 为通过晶体的两偏振光的相位差,^[8]

$$\phi = (2\pi/\lambda)n^3\gamma_{41}(l/d)V. \quad (2)$$

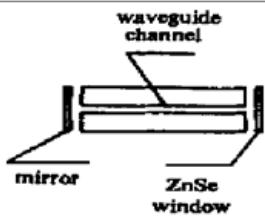


Fig. 1 Electrooptically cavity-dumped and q -switched RF excited waveguide CO_2 laser

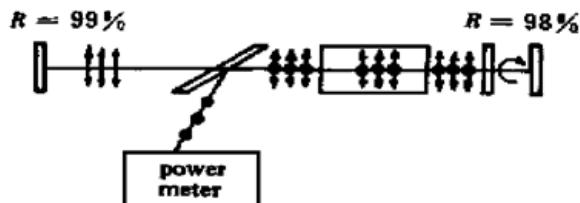
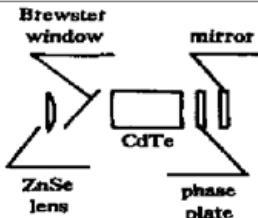


Fig. 2 Equivalent optical circuit diagram of the laser

实际测得的 CdTe 晶体所加电压 V 脉冲前沿和后沿下降与上升时间 τ_d 为 30 ns。电压下降与上升起始段变化较缓慢, $t = \tau_d/4$ 后, V 变化近似为线性。简化的电压脉冲如图 3 所示, 因此在 V

的下降段, 可把(1)式中 $R(t)$ 近似成 t 的线性函数波形

$$R(t) = \begin{cases} t/\tau_d & 0 \leq t < \tau_d, \\ 1 & t \geq \tau_d, \end{cases} \quad (3)$$

式中 τ_d 表示 V 下降时间, 时间 t 的零点取在 V 下降始点。谐振腔的光学长度为:

$$L = l + (n_B - 1)d_B + (n_c - 1)d_c + (n_w - 1)d_w, \quad (4)$$

Fig. 3 The simplified shape of the pulse voltage

其中 l 为全反射镜到输出镜距离, n_B, n_c, n_w 分别为布氏窗、晶体及波片的折射率, d_B, d_c, d_w 分别为光束通过布氏窗、晶体及波片的长度, 计算得出 $L = 0.9$ m。光在腔内传播一个来回所需的时间 $\tau_L = 2L/c = 6$ ns, 因此 τ_d 约为 $5\tau_L$ 。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:

$$P(t) = \begin{cases} \frac{P_0 t}{\tau_d} & 0 \leq t \leq \tau_L, \\ P_0 \left[1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d} \right] \frac{t}{\tau_d} & \tau_L \leq t \leq 2\tau_L, \\ P_0 \left[1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d} \right] \frac{t}{\tau_d} & 2\tau_L \leq t \leq 3\tau_L, \\ P_0 \left[1 - \frac{t - 4\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 3\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d} \right] \frac{t}{\tau_d} & 3\tau_L \leq t \leq 4\tau_L, \\ P_0 \left[1 - \frac{t - 5\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 4\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 3\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d} \right] \frac{t}{\tau_d} & 4\tau_L \leq t \leq 5\tau_L, \\ P_0 \left[1 - \frac{t - 5\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 4\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 3\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - 2\tau_L}{\tau_d} \right] \left[1 - \frac{t - \tau_L}{\tau_d} \right] & 5\tau_L \leq t \leq \tau_d + \tau_L, \end{cases}$$

在前 5 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。第六式表示第五周中, 在 $\tau_d - 5\tau_L$ 时间内透过布氏窗的激光在腔循环一周又从布氏窗反射的激光功率。设 $P_0 = 1$, 计算出的脉冲波形如图 4 所示, 当 $t = 12.7$ ns 时, 峰值功率为 $P_{\max} = 0.32P_0$, 激光输出的脉冲全宽度为 $\Delta t = \tau_d + \tau_L = 36$ ns。

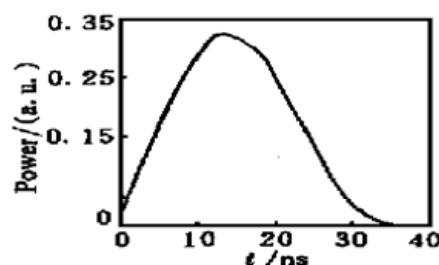


Fig. 4 Calculated cavity-dumped waveform

2 实验结果及讨论

实验中,激光器充分入气体的气压比例为 CO₂·N₂·He= 1·1·3,总充气气压为 8 kPa,射频注入功率为 200 W,射频源频率为 120 MHz。采用退压脉冲腔倒空方式,晶体所加的 $\lambda/4$ 电压为 2.65 kV,脉冲重复频率 1 Hz~10 kHz 可调。在 10 kHz 脉冲重复频率、电压脉冲宽度为 4.4 μ s 条件下,脉冲激光输出经衰减后,由带宽为 300 MHz 的液氮冷却的光伏 HgCdTe 探测器及带宽为 1 GHz 的 TDS684A 数字存储示波器探测和显示光脉冲波形,由 Coherent 公司 201 型功率计测量脉冲激光平均功率。实验结果如图 5 所示,由于未采取任何屏蔽措施,电压脉冲干扰波形也同时显示出来,其中左侧高而窄的峰为腔倒空激光脉冲,紧接着的振荡曲线为电压下降沿底部脉冲信号干扰,下一组振荡波形为脉冲电压上升沿顶端脉冲信号干扰,在此干扰信号之后,又有一个峰值功率较小的激光脉冲,实质是调 Q 激光脉冲。原因是:腔倒空过后,布氏窗反射率接近于 1,腔内损耗最大,而工作气体仍处于放电状态,所以上能级粒子数不断积累。当 CdTe 晶体突然加上 $\lambda/4$ 电压后,腔内损耗突降至最小,迅速建立起激光振荡,由于布氏窗对于 p 方向偏振光仍有 2% 反射率,所以部分激光从布氏窗反射形成调 Q 激光脉冲输出,与腔倒空激光脉冲间隔 5.4 μ s。腔倒空激光脉冲波形如图 6 所示。紧接着的一组振荡波形为干扰信号,可见腔倒空激光脉冲宽度为 40 ns,与理论值接近。由于在理论计算中,晶体上电压近似为线性下降,而实际上,电压下降起始段与结束段变化较缓慢,因此实验测得的腔倒空激光脉冲宽度略大于理论分析的激光脉冲宽度。

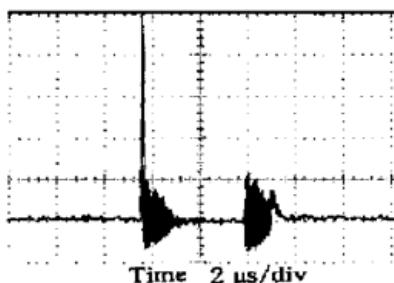


Fig. 5 Q-switching and cavity-dumped pulse at the $V_{\lambda/4}$ and PRF of 10 kHz

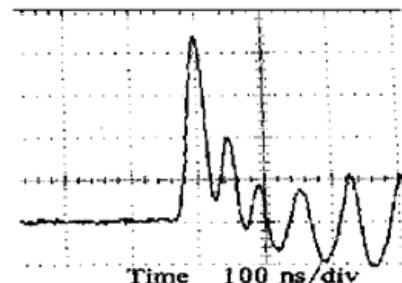


Fig. 6 Cavity-dumped pulse waveform at the $V_{\lambda/4}$ and PRF of 10 kHz

在实验中,如果改变晶体所加脉冲电压,则腔倒空脉冲激光峰值功率与调 Q 激光脉冲峰值功率也随之变化。当晶体所加电压为 2.2 kV 时,调 Q 激光脉冲功率明显加强,脉冲宽度为 500 ns,而腔倒空激光峰值功率有所减弱,如图 7 所示。原因是:当晶体所加电压偏离 $\lambda/4$ 电压时,(1) 式中第二项不为零,相当于布氏窗反射率增加,所以腔内激光功率降低,腔倒空脉冲激光输出功率也降低。腔倒空过后,上能级粒子数不断积累。当加在 CdTe 晶体上的电压突然偏离 $\lambda/4$ 电压后,由于等效布氏窗反射率增加,所以调 Q 脉冲激光输出功率增加。因此调节晶体所加电压,可控制腔倒空与调 Q 脉冲激光峰值功率。调节电压时应注意范围不能太大,否则腔内损耗过高,不能产生激光输出。如果调节电压脉冲宽度,则可控制腔倒空与调 Q 激光的脉冲间隔,因此达到编程输出的目的。

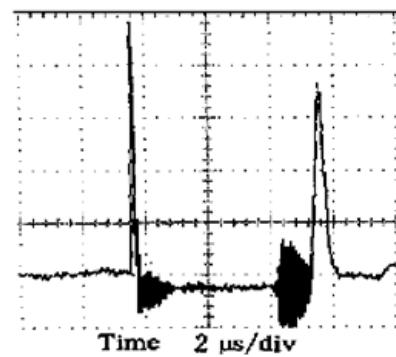


Fig. 7 Q-switching and cavity-dumped pulse at the below $V_{\lambda/4}$ and PRF of 10 kHz

当晶体所加电压为 2.2 kV、电压脉冲重复频率为 10 kHz 时,由功率计测得脉冲激光平均功率为 0.8 W,由于调 Q 激光脉冲宽度远大于腔倒空脉冲激光宽度,并且峰值功率相差不多,因此作为近似,可以忽略腔倒空脉冲激光对于平均功率的贡献,由此推算出调 Q 激光脉冲峰值功率为 160 W。另外由于探测器输出电流与激光功率成正比,比较图 7 中调 Q 激光脉冲波形与腔倒空脉冲激光波形的高度,可推算出腔倒空脉冲激光峰值功率为 210 W。当晶体所加电压为 $\lambda/4$ 电压时,平均功率为 0.1 W,但由于此时仍有调 Q 激光脉冲输出,因此无法测出纯腔倒空脉冲激光平均功率,也就不易推算出此时腔倒空脉冲激光峰值功率,但可以与图 7 比较估算出 $\lambda/4$ 电压时腔倒空脉冲激光峰值功率为 250 W。

参 考 文 献

- [1] Ahlberg H, Lundqvist S, Letalick D et al. Imaging Q -switched CO₂ laser radar with heterodyne detection: design and evaluation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17): 2891~ 2892
- [2] Piltzsrud H V. CO₂ laser for lidar applications, producing two narrowly spaced independently wavelength-selectable Q -switched output pulses. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(27): 3952~ 3963
- [3] Pearson G N, Rye B J. Frequency fidelity of a compact CO₂ Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(30): 6475~ 6484
- [4] Letalick D, Renhom I, Widen A. CO₂ waveguide laser with programmable pulse profile. *Opt. Eng.*, 1989, **28**(2): 172~ 179
- [5] Laughman L M, Wayne R J. Programmable transmitters for coherent laser radars. *Proc. SPIE*, 1981, **300**: 163~ 171
- [6] Marcus S, Carter G M. Electrooptically Q -switched CO₂ waveguide laser. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(16): 2824~ 2826
- [7] Marcus S. Compact electrooptically Q -switched CO₂ waveguide laser. *Rev. Sci. Instrum.*, 1981, **52**(3): 482~ 483
- [8] 叶青,胡渝,曹昭信. 碲化镉电光调制器性能研究. 红外技术, 1996, **18**(6): 7~ 10

Electrooptically Cavity-Dumped and Q -Switched RF Waveguide CO₂ Laser

Tian Zhaoshuo Wang Qi Wang Yusan

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Department of Electronic Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(Received 9 April 1999; revised 3 September 1999)

Abstract An electrooptically cavity-dumped and Q -switched RF waveguide CO₂ laser is reported. The cavity-dumped and Q -switched pulse laser output can be simultaneously obtained. The peak powers can be controlled by adjusting the voltage on the electro-optical crystal. The pulse interruption can be changed by adjusting the pulse width of the voltage on the electro-optical crystal. In this way programmable laser output can be achieved. In addition, a theoretical analysis is made on the cavity-dumped process.

Key words electrooptical cavity-dumping, Q -switching, RF waveguide CO₂ laser.