

文章编号: 1001-3806(2002)04-0270-03

## RF 激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器电光调 Q 实验研究

周鼎富<sup>1,2</sup> 江 东<sup>2</sup> 侯天晋<sup>2</sup> 郑从众<sup>2</sup> 陈建国<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>四川大学, 成都, 610064) (<sup>2</sup>西南技术物理研究所, 成都, 610041)

**摘要:** 对用于激光主动成像雷达、运行于稳频选支模式的射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器腔内插入 CdTe 电光晶体调 Q 实验进行了研究。计算了 CdTe 晶体的插入损耗并与实验结果取得了一致, 对 CdTe 晶体和其配套的  $N/4$  波片的热稳定性进行了研究, 比较了加压式和退奢式电光调 Q 对激光脉冲特性的影响。激光调 Q 输出 EH<sub>11</sub> 模, 重复频率 41.67kHz, 峰值功率达到 360W, 脉冲半宽度(FWHM) 150ns。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光器; CdTe 电光调 Q; 热稳定  
**中图分类号:** TN248.2 **文献标识码:** A

### The study on the E-O Q-switch of RF waveguide CO<sub>2</sub> laser

Zhou Dingfu<sup>1,2</sup>, Jiang Dong<sup>2</sup>, Hou Tianjin<sup>2</sup>, Zheng Congzhong<sup>2</sup>, Chen Jianguo<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Sichuan University, Chengdu, 610064) (<sup>2</sup>Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

**Abstract:** In this paper, we discuss the experimental results of intracavity CdTe electro-optical Q-switch for RF excited waveguide CO<sub>2</sub> lasers with frequency stable and line selected, which is used in an active imaging radar. The loss of CdTe in the laser has been calculated and the results are consistent with that of experiment. We also discuss the thermal stability of the CdTe crystal and  $1/4$  waveplate, as well as the pulse characteristic of CdTe Q-switch at various instances. This laser has EH<sub>11</sub> output mode with 150ns pulse width(FWHM), 360W peak power at 41.67kHz pulse repetition frequency.

**Key words:** CO<sub>2</sub> laser; CdTe electro-optical Q-switch; thermal stability

## 引 言

由于 CO<sub>2</sub> 激光具有高能、高效、好的光束质量以及相干长度长, 工作波长处于大气传输窗口, 对人眼安全等优点, 因而采用 CO<sub>2</sub> 波长体制的激光相干成像雷达具有极大的优势。尤其是采用脉冲体制的 CO<sub>2</sub> 激光相干成像雷达, 由于可得到目标灰度信息等优点, 而受到广泛的关注。介绍了研制的使用于激光成像雷达系统的小型调 Q 稳频波导 CO<sub>2</sub> 激光器, 并主要对整个器件影响较大的主振激光器的电光调 Q 实验进行了较详细的介绍与分析。

## 1 实验系统

### 1.1 激光器

适宜于脉冲体制的 CO<sub>2</sub> 激光相干成像雷达要求的激光器, 要求具有体积小, 频率稳定度高, 主振

激光器脉冲输出能量强等特点。笔者研制的 CO<sub>2</sub> 激光器, 使用殷钢材料, 调 Q 主振激光器和本振激光器采用一体化对称结构形式, 增益区采用全陶瓷波导结构 (2.5mm × 2.5mm × 335mm), 激励源为频率 87MHz 输出功率 120W 小型射频电源。采用 III 类耦合方式的平-凹半外谐振腔结构, 其中腔内使用效率为 95% 的原刻闪耀光栅, 以一级 Littrow 方式工作。封离式器件整体尺寸为 600mm × 170mm × 75mm。器件采用金属封接, 内置专用于 CO<sub>2</sub> 激光器的常温催化剂以提高器件的工作与存储寿命。工作气体组分为 V(CO<sub>2</sub>): V(N<sub>2</sub>): V(He): V(Xe) = 1%: 1%: 5%: 5%, 气压 10644Pa。图 1 和图 2 为器件的实物照片及主振激光器的原理图。

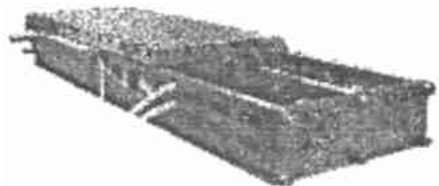


Fig. 1 Photo of the laser

主振激光器在空腔 (即未插入 CdTe 调 Q 晶

作者简介: 周鼎富, 男, 1967 年 7 月出生。高级工程师, 在职博士研究生。现从事激光技术方面的研究工作。

收稿日期: 2001-07-30

体) 状态下, 连续基模激光输出 8.4W。短期频率稳定度达  $1.76 \times 10^{-8}$ , 在 1h 连续工作后, 激光功率会平稳缓慢下降约 6%~8%。

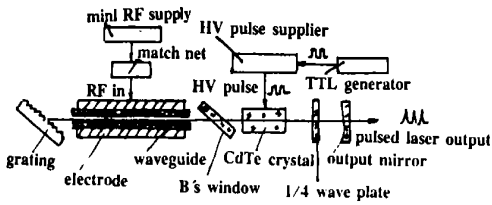


Fig. 2 Schematics of master laser configuration

### 1.2 调 Q 实验

为获得较高的激光脉冲频率和峰值功率, 主振激光器采用了腔内电光调 Q 方式。电光调 Q 元件含 CdTe 电光晶体和  $\lambda/4$  波片, 均从美国 II-VI 公司进口。其中调 Q 晶体为互补型双 CdTe 电光晶体, 每根晶体尺寸为  $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 25\text{mm}$ , 采用 AM (幅度调制) 切割方式。其  $10.6\mu\text{m}$  透过率 98%, 调制率 35%,  $V_{\lambda/4} = 2.65\text{kV}$ , 电阻率  $3.5 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ , 体电容为 27pF, 相位延迟为 89.7。所使用的  $\lambda/4$  波片采用 CdS 材料, 双面镀  $10.6\mu\text{m}$  增透膜,  $10.6\mu\text{m}$  透过率 99%。晶体采用水冷却方式。该电光调 Q 元件见图 3。调 Q 高压电源为美国 Quantum 公司生产, 其重复频率为 0~40kHz, 电压 0~3kV, 最小响应上升前沿 20ns。由 TTL 信号同步触发。

将 CdTe 调 Q 晶体插入到主振激光器的布氏窗与输出镜之间。在静态(未加脉冲高压)下, 可得到最大连续激光输出 6.7W。当再加上  $\lambda/4$  波片

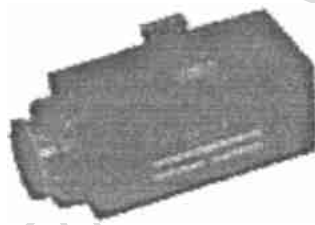


Fig. 3 CdTe and 1/4 wave plant

时, 能量降为 6W。实验中发现, 在安装 CdTe 晶体时, 晶体位置的微小变化会对激光功率输出有较大的影响。另外, 当  $\lambda/4$  波片处于  $0^\circ$  或  $90^\circ$  时, 两位置的激光能量输出不同, 最大相差可能达到 50%, 且不固定。在工作时间较长时, 激光输出模式可能由基模 ( $\text{EH}_{11}$  模) 变成多模, 且激光能量下降, 频率稳定度变差。这一方面原因可能是其机械结构不稳定所致, 另一方面是由于该波片在激光通过时产生热变形。

图 4 为调 Q 晶体静态时分别在无有效冷却条件下的连续激光输出随时间的变化, 在激光功率下降较严重位置处, 激光输出模式由基模变化为高阶模。从图 4 中可看出, 在不加冷却情况下, 晶体的插入将使激光输出功率(模式)成一定的周期性变化。

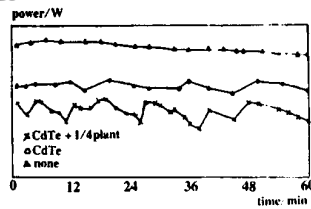


Fig. 4 CW output power curves versus time when the Q-switch works at insufficient cooling  $\Delta$  - none; o - with CdTe crystal; x - with CdTe crystal+  $\lambda/4$  waveplate

当再插入  $\lambda/4$  波片后, 变化将更加厉害。说明晶体材料的热影响对激光器性能有较大的影响。图 5 为调 Q 晶体在良好冷却 (30pps/min) 时, 在静态(前 30min) 和在  $\lambda/4$  波高压 ( $\text{HV} = 2.65\text{kV}$ , 频率  $f = 40\text{kHz}$ ) 调

Q 条件下平均激光功率输出随时间的变化。

图 6 为对晶体采用加压式工作方式所得的激光脉冲波形图。重复频率 40.32 kHz, 触发脉冲宽度 6 $\mu\text{s}$ , 输出激光脉冲半宽度 150ns, 脉冲上升前沿 80ns, 平均输出功率 2.2W。峰值

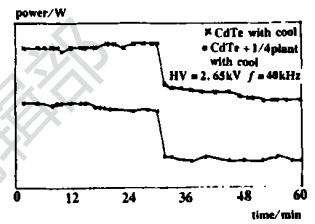


Fig. 5 CW and pulsed output power curves versus time when the Q-switch works at efficient cooling, in 0~30min the laser works in CW mode, and 30~60min in pulsed mode with  $\lambda/4$  HV at 40kHz x - with CdTe; o - with CdTe+  $\lambda/4$  waveplate



Fig. 6 The pulse shape of the master laser left - single pulse; right - conious pulses

功率达 363W。其中图 6a 为每个脉冲波形图; 图 6b 为连续脉冲升前沿 80ns, 平均输出

功率 2.2W。峰值功率达 363W。其中图 6a 为每个脉冲波形图; 图 6b 为连续脉冲波形图, 图中每个激光脉冲前后尖峰为高压调 Q 电源干扰。采用加压式工作时激光平均功率较退压工作时的平均功率小。这一方面原因是由于  $\lambda/4$  波片造成插入的损耗, 另一方面原因是由于退压工作时晶体的光弹效应, 脉冲激光输出带有一定的连续本底。

### 2 分析

为了在腔内插入电光晶体, 激光谐振腔采用了半外腔结构。理论计算表明<sup>[1]</sup>, 采用 III 类耦合方式时, 谐振腔耦合损耗具有极小值。在波导截面为  $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$  时, 共焦参数  $f = \pi\omega_0^2 / \lambda = 228\text{mm}$ , 按照 III 类耦合条件, ZnSe 输出镜的曲率半径应为  $R = 456\text{mm}$ , 其安装位置距波导出口距离为

228mm。在插入长度为 50mm、折射率 2.674 的 CdTe 晶体后,空腔部分剩余长度为  $L$ ,考虑到晶体插入引起的光程变化,则 II 类耦合条件为<sup>[1]</sup>:

$$f = L + l/n = 228 \quad (1)$$

由此计算出  $L = 209\text{mm}$ ,则输出镜距波导口的安装距离应为  $209\text{mm} + 50\text{mm} = 259\text{mm}$ 。由于在实际应用受体积要求限制,该距离只有 190mm,这将导致耦合损耗的增加。另外,在插入 CdTe 电光晶体后,由于晶体的耦合系数<sup>[2]</sup>为  $C_m = \sin^2 \Gamma(t)$ ,式中,  $\Gamma = 2\pi l n_0^3 r_{41} V(t) / \lambda d$ ,为 CdTe 晶体的相位延迟。在 40kHz,  $V_{M4} = 2.65\text{kV}$  的电压调制下,激光脉冲平均功率为 2.2W,此时的晶体调制率  $\approx 2.2(\text{W}) / 6(\text{W}) = 36\%$ 。与晶体的参数 35% 的调制率相近。

在 CdTe 晶体插入腔内的情况下,无论是连续工作状态或是脉冲调制工作状态,都会因为腔内激光通过晶体和晶体上加调制高压而发热,从而产生所谓的晶体热透镜效应和晶体的热变形,导致激光器工作的不稳定、效率降低甚至损坏晶体本身。

CdTe 晶体由于腔内激光造成的热透镜效应的焦距为<sup>[3]</sup>:

$$f \approx \left[ \frac{\alpha_0 P_t}{K \pi \omega^2} \frac{dn}{dT} \right]^{-1} \times \frac{1}{L} \quad (2)$$

在连续工作状态下,腔内激光能量  $P_t \approx 33\text{W}$ ,可计算出  $f \approx 50\text{cm}$ 。在 40kHz 的脉冲调制工作状态下(腔内平均能量约为 11W),该焦距将变为  $f \approx 150\text{cm}$ 。由此可见,热透镜效应对激光器有较大的影响,从图 4 中可以看到晶体的热变化对激光输出模式及功率的影响。在激光输出功率较高时,晶体的热透镜效应严重,将导致激光模式变坏,从而引起激光功率的下降。当功率下降到一定程度时,热透镜效应改善,激光模式逐渐变好,激光功率逐渐上升。

对于  $M4$  波片来说,尽管其  $10.6\mu\text{m}$  透过率高,但由于其厚度非常薄,微小的变形(包括机械转动变形和材料热变形)都将引起偏振激光的透过率的大变化。

为克服晶体发热对激光器带来的不利影响,需要对 CdTe 晶体组件进行有效的冷却措施。从图 6 中可以看出,在对 CdTe 晶体进行了冷却后,激光功率稳定性已有大大的好转。由于结构所限,目前还

未对  $M4$  波片进行直接冷却。因此,在长时间(约 2h)工作后,激光模式会有所变化。此时,微调该波片的角度,又可回到基模。

CdTe 电光调  $Q$  在动态工作方式上分为退压式和加压式两种。退压式工作无需在腔内加  $M4$  波片。当在晶体上加高压时,激光处于封锁状态;在高压突然去掉时,输出激光脉冲。由于 CdTe 晶体存在所谓的“光弹效应”,在高压撤掉瞬间,晶体相位并不是突然恢复为  $0^\circ$ ,而是逐渐减小。这将导致激光峰值功率下降和激光脉冲变宽。实验中发现,该值随不同的触发宽度( $2\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$ )而不同,变化范围可在  $200\text{ns} \sim 1\mu\text{s}$  间变化。在重频工作时,激光脉冲有较高的连续本底激光。另外由于脉冲高压部分长时间加载到晶体上,将进一步引起晶体的热变形。实际工作中,由于腔内损耗关系,退压工作时的脉冲高压不必加到  $V_{M4} = 2.65\text{kV}$  电压,实验中将高压加到约 1800V 即可观察到激光脉冲输出。

加压式工作方式要在腔内加入  $M4$  波片,脉冲工作时波片处于  $45^\circ$  或  $135^\circ$  位置。在无高压时激光处于关断状态。在加上  $M4$  电压后,经过  $\tau_d$  时间延时,激光脉冲输出。实验中发现,激光脉冲的脉冲半宽度  $\tau_w$ 、峰值功率  $P$  等与加载到晶体上的脉冲高压时间  $\tau_h$  和电压值  $V$  等有一定的关系:在  $\tau_h < 1\mu\text{s}$  时,无激光输出,在  $\tau_h > 3\mu\text{s}$  时,脉冲容易建立;在  $3\mu\text{s} < \tau_h < 6\mu\text{s}$  时,峰值功率逐渐增加;  $\tau_h > 6\mu\text{s}$  时,脉冲半宽度逐渐增加,峰值功率逐渐下降,在  $\tau_h > 10\mu\text{s}$  时,将会出现双脉冲,此时,峰值功率显著下降。

### 3 结 论

CdTe 电光调  $Q$  晶体对于  $10.6\mu\text{m}$  波长激光具有透过率强、调制率高、调制频率高等优点,非常适宜于对调  $Q$  峰值功率和重复频率等应用要求较高的场合。但在使用中对晶体良好的冷却是器件稳定工作的保证。

### 参 考 文 献

- [1] Avriillier S, Verdonck J. J. A. P., 1977, 48(12): 4937~ 4941.
- [2] Kiefer J. E., Nussmeier T. A. IEEE J. Q. E., 1972, QE8(2): 173~ 178.
- [3] Eng R. S., Kachelmyer A. L., Harris N. W. SPIE, 1991, 1416: 70~ 84.