

文章编号: 1001-3806(2009)04-0355-04

陶瓷多通道折叠射频波导稳频脉冲 CO₂ 激光器研究

王从刚¹, 周鼎富², 赵晓军¹, 孙鹏², 杨泽后², 侯天晋², 江东², 陈建国^{1*}

(1. 四川大学 光电技术系, 成都 610065; 2. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 为了研究可用于红外激光外差成像雷达、由腔倒空脉冲工作模式的主振激光器和处于连续工作模式的本振激光器组成的射频波导稳频脉冲 CO₂ 激光器, 采用输出端腔外准折叠和主、本振全反射端共用同一块原刻闪耀光栅的方法, 分别缩短了器件的长度和提高了主、本振激光器的外差频率稳定性。通过调节 CdTe 调制器上的高压脉冲下降沿时间, 可以使主振得到宽脉冲的腔倒空激光输出, 本振通过插入压电陶瓷来实现系统的外差中频信号的偏频锁定。主振在腔倒空模式下工作重频可达到 70kHz, 得到脉冲峰值功率达到 2.5kW (脉宽约为 30ns)、主本振外差中频 (120MHz) 频率漂移在短期内小于 1MHz 的结果。结果表明, 研制的激光系统可以满足外差成像雷达系统的特殊要求。

关键词: 激光器; 射频波导 CO₂ 激光器; 稳频; 腔倒空; CdTe 调制器

中图分类号: TN248.2*2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2009.04.006

Study on ceramic multi-channel folded RF waveguide CO₂ laser

WANG Cong-gang¹, ZHOU Ding-fu², ZHAO Xiao-jun¹, SUN Peng², YANG Ze-hou²

HOU Tian-jin², JIANG Dong², CHEN Jian-guo¹

(1. Department of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to develop a frequency-stabilized cavity-dumped RF waveguide CO₂ laser to be used in a pulsed heterodyne imaging lidar, a laser system, composed of a pulsed master laser (MO) and a continuous wave local laser (LO) was studied, in which the same original blazed diffraction grating was set on the total reflective end of LO and MO because of the ceramic-plate folded-channel structure, so the physical length was shortened and the frequency stability of both the LO and MO was improved. In order to increase the width of the cavity-dumped output pulse, a delay circuit was employed to lengthen the falling time of the high voltage applied to the CdTe modulator. The frequency offset between the MO and LO radiation was locked with a piezoelectric ceramic. So the peak power of the MO was about 2.5kW with a pulse width of 30ns (full width at half maximum, FWHM) at a repetition rate of 70kHz, and the frequency offset between the MO and LO radiations was less than 1MHz in a short term. The testing results show that the laser system can meet the requirement of the pulse heterodyne imaging lidar system.

Key words: lasers; RF waveguide CO₂ laser; frequency stability; cavity-dumped; CdTe modulator

引言

CO₂ 激光器由于具有光束质量好、增益高、相干长度长、抗干扰能力强、处于大气传输窗口及对人眼相对“安全”等优点, 因而在诸多领域有着广泛的应用。采用脉冲外差相干探测技术体制的 CO₂ 激光雷达, 由于除了具备其它激光雷达所具有的角分辨率高、抗干扰能力强、及比微波雷达体积小和重量轻等优点外, 还可以得到目标的 3 维图像, 因而受到广泛关注。

作者介绍了一种自行研制的可用于红外激光外差

作者简介: 王从刚 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光技术方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: optics_lab@163.com

收稿日期: 2008-04-24; 收到修改稿日期: 2008-10-08

成像雷达的小型陶瓷多通道射频波导 CO₂ 激光器, 该激光器由处于腔倒空脉冲工作模式的主振激光器和处于连续工作模式的本振激光器组成。由于采用上述激光器的雷达系统对目标距离分辨率、外差中频信号带宽以及信息处理系统有特定的要求, 因而对主振激光器的脉冲宽度、峰值功率以及主、本振激光器的外差频率稳定性也提出了相应的要求。通过在主振光路中插入 CdTe 电光晶体和 $\lambda/4$ 波片, 可以使主振获得的腔倒空激光脉冲输出。通过改变 CdTe 晶体上的高压驱动电源的工作参量, 可以得到所需脉宽的腔倒空激光脉冲, 获得的主振工作重频可达到 70kHz, 获得的腔倒空激光脉冲半峰全宽 (full width at half maximum, FWHM) 约为 30ns, 腔倒空脉冲的峰值功率超过 2.5kW, 本振折叠空间中插入压电陶瓷 (piezoelectric

ceramic, PZT)来实现本振的偏频调谐功能,主本振外差中频(120MHz)频率漂移在短期内小于1MHz。从而满足外差成像雷达系统的特殊要求。

1 激光器结构设计

所设计的用于脉冲外差相干成像雷达系统的 CO₂ 激光器,其结构和系统光路如图1所示。将主振激光

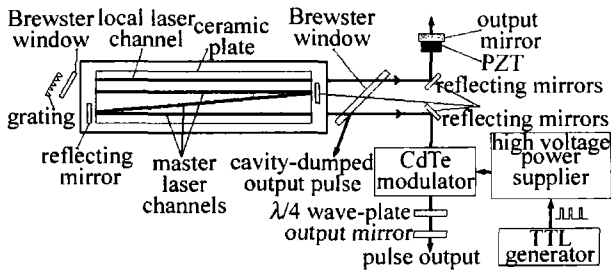


Fig. 1 Schematics of E-O cavity-dumped folded waveguide CO₂ laser

器和本振激光器进行高度集成,采用在同一个陶瓷板上开4条通道来构成主、本振波导各自的放电通道,每通道波导尺寸均为2.5mm×2.5mm×400mm,其中的3条通道构成主振的“Z”型折叠结构,使主振的总增益长度约为1200mm,折叠结构增加了放电增益长度,从而可以增加输出功率;而另一条通道为本振使用,增益长度为400mm,构成主、本振放电区的陶瓷板放到同一个放电腔体内,一体化的结构使得器件更加紧凑,工作气体容量更大^[1]。主、本振激光谐振腔安装在同一块殷钢材料制成的底板上,两激光器全反端通过1片ZnSe布氏窗镜后共用1块150line/mm、1级衍射效率达95%的原刻闪耀光栅,并按1级Littrow方式工作,以提高主、本振激光器的外差频率稳定性及功率稳定性,使两激光器均能稳定工作在10P(20)支线上。

同时,主、本振激光器在腔外均采用Ⅲ类耦合方式“准折叠”方式,使系统集成度更高以及充分利用有效的空间,主振器件腔外折叠空间中通过插入CdTe电光晶体和λ/4波片构成的幅度调制器,可以得到主振的电光腔倒空脉冲输出,通过调整CdTe所加高压电源的负载参量,来得到满足总体要求的腔倒空激光脉冲,CdTe晶体一侧的主振输出腔镜采用98%的凹面镜,有很微弱的激光脉冲输出,该脉冲信号可用于系统总体的外差中频信号的偏频锁定。本振激光器的输出



Fig. 2 The waveguide CO₂ laser head

镜片粘在1块PZT上,使得本振激光器可以进行大范围的调谐,实现主本振激光器的外差中频信号的偏频锁定要求。激光器实物图如图2所示。

2 原理分析

2.1 激光器频率稳定性分析

应用于激光外差成像雷达的CO₂激光器,对频率稳定性要求非常高。激光稳频方式一般分为主动稳频和被动稳频两种。实验中采用被动稳频方式,通过激光器谐振腔材料的选取、结构设计、有效的冷却以及放电的稳定性等被动方法来达到激光频率的稳定^[2]。

在被动稳频方式下,影响激光频率变化的主要因素是激光谐振腔的等效光程的变化。而等效光程的变化主要由放电时介质的折射率变化和谐振腔腔长的变化(主要由环境振动、外界温度变化、电磁场和声波干扰等引起的)所致。设激光器工作频率为ν,频率漂移为Δν,则其频率稳定度可表示为^[3]:

$$\left| \frac{\Delta\nu}{\nu} \right| = \left| \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta L}{L} \right| \quad (1)$$

式中, n 为等离子放电状态的工作气体和半外腔腔内暴露大气部分的等效折射率, L 为激光器谐振腔等效腔长。影响 ΔL 变化的主要因素包括谐振腔材料随温度变化的线性膨胀,以及谐振腔机械结构稳定性等;影响 Δn 变化的主要因素有注入功率密度的起伏变化、放电气体温度的变化、放电气体气压的变化、外部大气压力的变化和气体扰动等^[3]。前者主要影响激光器的长期频率稳定性,而后者主要影响激光器的短期频率稳定性。为了对谐振腔腔长进行控制,可以采用低膨胀系数的谐振腔支架材料,用短尺寸较高膨胀系数的材料,反向安装谐振腔输出镜片进行长度补偿,以及有效的温度控制来提高激光器被动频率稳定性。同时,由于两只激光器采用紧密设计,放电空间相通且距离很近,这就保证了加在主、本振激光器放电通道上的电压差别不会很大。当射频注入功率发生变化时,在均匀放电情况下,两通道气体放电等离子体折射率变化应该近似相同,这就使得两通道激光外差频率几乎可以不受电源功率变化的影响,从而保持稳定,对采用外差探测体制的CO₂激光雷达来说非常有利。

2.2 激光器腔倒空分析

对主振激光器来说,由于波导、布氏窗及光栅的选偏特性,波导内的激光偏振方向为 p 光。在CdTe晶体未加高压时,激光通过晶体的偏振光方向不变,两次通过λ/4波片, p 方向偏振光变成 s 方向偏振光,但由于布氏窗(薄膜偏振片)的作用,不能返回谐振腔内形成振荡;在晶体加λ/4电压($V_{\lambda/4} = 2650\text{V}$)后,激光两次

通过 $\lambda/4$ 波片和 CdTe 晶体,激光偏振方向没有改变,在谐振腔内迅速建立激光振荡,上能级粒子不断累积,当腔内激光振荡强度达到峰值时,腔内光子流通量达到极大,此时若迅速将加在 CdTe 晶体上的电压由 $V_{\lambda/4}$ 降到 0^[4],腔内形成的激光振荡将两次通过 $\lambda/4$ 波片和 CdTe 晶体,偏振面旋转 90°, p 方向偏振光变成 s 方向偏振光,由薄膜偏振片镜面斜向反射至腔外^[5]。可见腔倒空激光脉冲出现在高压下降沿位置。

由腔倒空输出激光功率的时间特性公式^[6]可计算出在不同的高压脉冲下降沿宽度下,腔倒空脉冲半峰全宽的变化情况^[7-8](见图 3)。

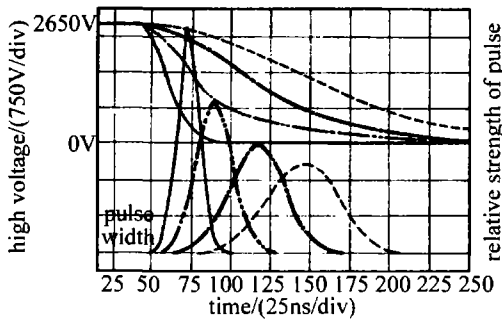


Fig. 3 Schematics of cavity-dumped waveforms at different falling time of HV pulse on CdTe

CdTe 晶体相当于一个电容约为 30pF 的电容,晶体上加上 $\lambda/4$ 高压后,通过高压探头 (Tektronix P6015) 可以对晶体上的高压脉冲信号特性进行测量(见图 4)。图中下面的波形是高压脉冲的逻辑门电路

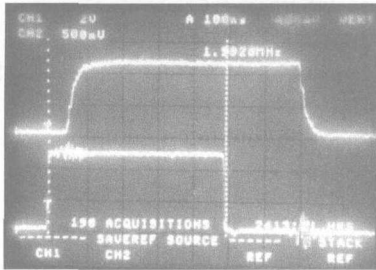


Fig. 4 The trigger pulse signal and high-voltage pulse signal

触发信号,上面的波形为高压脉冲信号。从图中可以看出,高压脉冲信号上升沿和下降沿相对于逻辑门电路触发脉冲信号的上升沿和下降沿都有延迟,上升沿和下降沿延迟分别约为 60ns 和 200ns,高压脉冲的下降沿时间经测试约为 60ns。考虑到高压探头电容量的影响,实际的脉冲下降沿要比该值小。事实上,该高压电源出厂指标中所给出的下降沿为 45ns。由图 3 可知,对应于约 45ns 的高压脉冲,激光器所输出的腔倒空激光脉冲半峰全宽约为 20ns。

为了得到所需的脉宽,根据前面的分析计算,可以采用将高压脉冲下降沿进行延长的方式,来得到满足使用要求的宽度约为 30ns 激光腔倒空脉冲。如图 5 所示,通过在晶体上串联功率电阻,可以改变高压电源

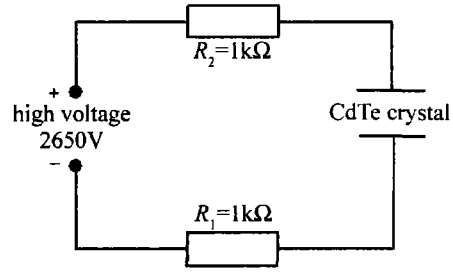


Fig. 5 The RC circuit consisting of resistances and the CdTe crystal 负载电路的参量,从而改变 CdTe 晶体上的高压脉冲参量。对于图 5 中的阻容 (resistance-capacitance, RC) 电路,其特征时间 τ 约等于阻容。由图 3 中可以知道,要获得约 30ns 的激光腔倒空脉冲输出,要求高压脉冲的下降沿时间在 60ns 左右。由 RC 电路的特征时间公式,可以计算出所需串联的功率电阻的阻值大约为 2k Ω ,实验中把两只 1k Ω 的功率电阻与 CdTe 晶体串联来组成 RC 电路。

3 实验结果及讨论

实验中,激光器充入比例为 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He}):V(\text{Xe})=0.01:0.01:0.05:0.05$ 的工作气体,总气压约为 10kPa,射频注入总功率约为 400W,射频源频率为 87MHz。通过 CO₂ 激光光谱仪的长时间观测 (0.5h 以上),主、本振激光器的激光输出谱线皆稳定在 10P(20) 支线上,没有发生跳支现象。

应用于激光外差雷达的激光光源,要求主、本振激光器的频率相对稳定,因此对于激光器的短期频率稳定度的测量,可以采用对主振和本振激光器输出光进行外差混频,通过测量其外差差频 (中频) 信号的稳定性的方式来判定激光器的频率稳定度。实验中,当主、本振激光器自由工作时,探测到的外差频谱信号如图 6 所示。图中左边约 14MHz 处的波峰是主、本振激光



Fig. 6 The heterodyne intermediate frequency signal of MO and LO 器的外差中频信号,右边 87MHz 处的波峰为射频电源的干扰信号。外差中频信号可以在较大的范围内慢慢漂移,但该漂移量在 1s 内始终小于 1MHz。当压电陶瓷加电工作以后,通过调节 PZT 工作电压,可以实现外差中频信号在 0MHz ~ 150MHz 范围内调谐。通过一闭环锁定控制系统,可以实现两只激光器的外差中频长期锁定在 120MHz 处,实现雷达系统功能要求。

激光器开始工作以后,当 CdTe 晶体加上高压后,即可得到电光腔倒空激光脉冲输出,输出的激光脉冲经过一定数量的衰减片衰减后,再由液氮冷却的

HgCdTe 探测器和示波器 (Tektronix TDS3032) 来探测及显示激光脉冲波形。在没有加延时电阻、高压脉冲重频 30kHz、电压脉宽为 300ns 时,所得到的腔倒空激光脉冲半峰全宽约为 20ns,与理论半峰全宽基本相符 (见图 7)。

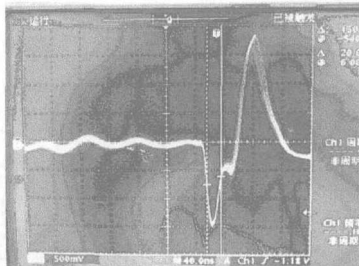


Fig. 7 The picture of cavity dumping output pulse at pulse recurrence frequency 30kHz,FWHM about 20ns

为了增加腔倒空激光脉冲的宽度,根据前面的理论分析,在 CdTe 晶体上串联了两个阻值分别为 1kΩ 的功率电阻,这时当高压脉冲重频为 30kHz、脉宽为 300ns 时,得到的腔倒空激光脉冲半峰全宽约为 29ns (见图 8)。图 9 为腔倒空激光在 30kHz 重频,脉宽

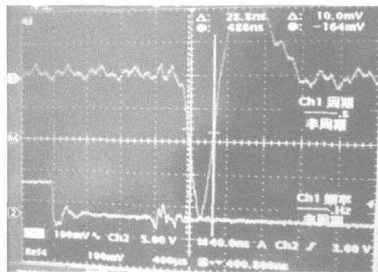


Fig. 8 The picture of cavity dumping output pulse at pulse recurrence frequency 30kHz,FWHM about 28.8ns

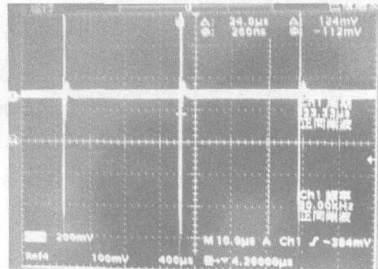


Fig. 9 The repetition rate of cavity-dumped pulse at 30kHz

300ns 工作时的输出重频脉冲波形图。当主振激光器重频达到 70kHz 时,可以得到脉宽半峰全宽约为 30ns、峰值功率超过 2.5kW 的腔倒空激光脉冲输出。

4 结 论

通过前面的理论分析和实验结果可知,采用被动稳频方式工作的射频激励波导 CO₂ 激光器,具有结构紧凑、可靠性高的特点。通过改变高压电源负载的参量,可以控制腔倒空输出脉冲的宽度。主振在腔倒空模式下工作重频可以达到 70kHz,得到的腔倒空脉冲宽度为 30ns 时,脉冲峰值功率达到 2.5kW,主、本振外差中频 (120MHz) 频率漂移在短期内小于 1MHz。研制的激光系统可以满足外差成像雷达系统的特殊要求。

参 考 文 献

- [1] LIU J H, XU R P. Laser device and technology [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1995:162-163 (in Chinese).
- [2] LAN X J. Laser technology [M]. Beijing: Science Press, 2000:209-210 (in Chinese).
- [3] WANG X Sh. Basis of laser Principle [M]. Ji'nan: Shandong Scientific & Technical Publishers, 1979:367-381 (in Chinese).
- [4] ZHOU D F, JIANG D, HOU T J, et al. The study on the E-O Q-switch of RF waveguide CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2002, 26(4):485-487 (in Chinese).
- [5] ZHOU B K, GAO Y Zh, CHEN T R, et al. Laser principle [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004:227-228 (in Chinese).
- [6] YANG Z H, ZHOU D F, CHEN J G, et al. Study on the characteristics of cavity-dumped RF waveguide CO₂ Laser [J]. Laser Technology, 2004, 28(5):485-487 (in Chinese).
- [7] WANG J Y, ZHOU D F, CHEN J G, et al. RF excited waveguide CO₂ laser with controllable width of cavity-dumping pulse [J]. Laser Technology, 2007, 31(1):25-28 (in Chinese).
- [8] TIAN Zh Sh, WANG Q, WANG Y S. Electrooptically cavity-dumped and Q-switched RF waveguide CO₂ laser [J]. Acta Optica Sinica, 2000, 20(12):1613-1616 (in Chinese).