

文章编号: 1001-3806(2004)05-0485-03

波导 CO₂ 激光器电光腔倒空特性研究

杨泽后¹, 周鼎富², 陈建国¹, 江 东², 霍义华², 孙 鹏²

(1. 四川大学 光电技术系, 成都 610064; 2. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 对影响射频波导激光器电光腔倒空的激光输出脉冲特性的几个主要参数进行了研究。通过改变加在 CdTe 电光晶体上高压脉冲的不同上升沿时间, 以及在不同布氏窗输出反射率等情况下, 对腔倒空的脉冲宽度及脉冲峰值功率的变化特性进行了理论分析。在一台用于主动激光成像雷达光源的准折叠高重频腔倒空射频波导 CO₂ 激光器上, 通过改变 CdTe 电光晶体的工作参数, 获得了 20ns 到 30ns(FWHM) 可调输出脉宽。

关键词: 腔倒空; 射频波导; 碲化镉晶体; 脉宽

中图分类号: TN248.2⁺2 **文献标识码:** A

Study on the characteristics of cavity-dumped RF waveguide CO₂ laser

YANG Ze-hou¹, ZHOU Ding-fu², CHEN Jian-guo², JIANG Dong², HUO Yi-hua², SUN Peng²

(1. Department of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu 610064, China; 2. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: Several parameters that affect the output pulse characteristics of electro-optically (E-O) cavity-dumped RF waveguide laser have been discussed. By changing the rising time of high voltage pulse in CdTe crystal and reflectivity of Brewster window, the varieties of output pulse width and peak power of cavity-dumped laser are theoretically studied. By changing these parameters, in a home-made CdTe E-O cavity-dumped double-channel RF excited CO₂ waveguide laser, which might be used as a light sources in a heterodyne imaging lidar system, we have obtained the cavity dumped pulses width at FWHM from 20ns to 30ns.

Key words: cavity-dumped; RF waveguide; CdTe crystal; pulse width

引 言

小型化射频波导 CO₂ 激光器由于具有效率高、结构紧凑、良好的光束质量、输出稳定及工作寿命长等优点, 已广泛应用于诸多军事应用领域。在这些应用中, 采用脉冲外差体制的 CO₂ 激光外差相干成像雷达, 由于能对目标进行三维分辨, 并能获得目标的多普勒信息, 因而最具有应用前景。该种雷达系统由于对目标距离分辨率、外差中频信号带宽以及信息处理电路技术等限制, 对主振激光器的峰值功率和脉冲宽度有一定的要求。

采用电光腔倒空射频波导 CO₂ 激光器, 与电光调 Q 相比, 可以得到较高的重频和峰值功率, 以及更快的脉冲前沿。电光腔倒空波导 CO₂ 激光器的

脉冲宽度一般为十几纳秒宽度 (FWHM), 对于采用脉冲前沿测距方式的雷达来说, 可以得到较高的探测精度。但对于同时采用外差体制的雷达系统, 要取得有效的中频信号, 一般要求激光脉冲包络中的外差信号个数达到 3~5 个以上。因此, 当主振激光器的腔倒空激光脉冲宽度太窄时, 对于雷达系统的外差信号的处理非常不利。

采用自行研制的双波导准折叠射频 CO₂ 激光器, 在正常情况下获得了约 20ns (FWHM) 的腔倒空脉宽, 通过改变电光晶体的工作参数, 获得了约 30ns 的激光脉冲, 满足了外差成像雷达系统的特殊要求^[1~3]。

1 实验装置与原理分析

所采用的双通道准折叠方式电光腔倒空射频波导 CO₂ 激光器结构如图 1 所示, 其中上下电极与 4 片 Al₂O₃ 陶瓷构成面积为 2.5mm × 2.5mm 的波导通道, 波导增益长度为 500mm。电光调 Q 元件位于反射镜与折返镜之间。布氏窗镀有偏振介质膜, 其中

作者简介: 杨泽后 (1978-), 男, 硕士研究生, 现从事光通信和激光技术的研究。

E-mail: yangzezhou@etang.com

收稿日期: 2003-12-08; 收到修改稿日期: 2004-02-04

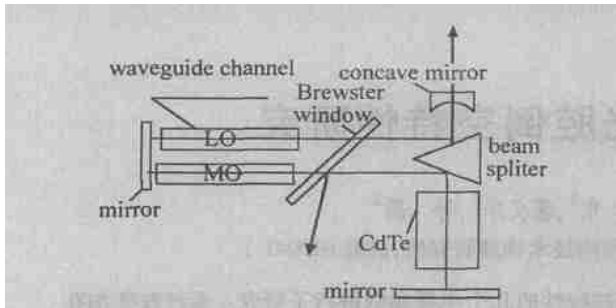


Fig.1 Schematics of E-O cavity-dumped RF excited double-channel waveguide CO₂ lasers

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 98%。

晶体未加电压时，通过晶体的偏振光方向不变，谐振腔处于高 Q 状态，此时，谐振腔振荡的阈值粒子反转数 N_t 很小，初始粒子反转数 N_i 与阈值粒子数 N_{th} 的比值 N_i/N_{th} 很高，谐振腔内迅速建立激光振荡。当腔内激光振荡强度达到峰值时，腔内光子流通量达极大，此时加在 CdTe 晶体上的电压 V 迅速由 0 跃变为 $V_{\lambda/4}$ ，腔内已形成的激光振荡两次通过 CdTe 晶体，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。其 s 光分量形成输出， p 光分量在腔内继续维持振荡。

谐振腔在“腔倒空”阶段是一个起偏方向与检偏方向垂直的电光调制系统。可把这个开关等效为一个反射镜 M ，该镜的反射率 $R(t)$ 随电压 V_x 变化，是时间的函数。因此等效布氏窗输出率 $R(t)$ 应为^[4]：

$$R(t) = R_0 \cdot \sin^2 \delta(t) \quad (1)$$

式中， R_0 为 s 方向偏振光反射率， δ 为 CdTe 晶体的两偏振光的相位差。

CdTe 晶体属于 43m 立方晶系，即是一种介电张量 $r_{41} = r_{52} = r_{63}$ 的各向异性介质。当外加横向电场时，晶体的折射率椭球发生旋转，入射偏振光分解为两束方向垂直且有一相位差 δ 的偏振光。晶体按以下方式定向切割 (AM 切割) 可以获得最大相位延迟：(110) 面作为加电场电极面，垂直于光入射方向取作 (110) 面，第 3 面为 (001) 方向。因此，在 x 和 y 方向上的折射率变化为^[5,6]：

$$\begin{cases} n_x' = n_0 + \frac{1}{2} n_0^3 \cdot \gamma_{41} \cdot E_z \\ n_y' = n_0 - \frac{1}{2} n_0^3 \cdot \gamma_{41} \cdot E_z \end{cases} \quad (2)$$

式中， n_0 为寻常光的折射率， E_z 为 z 方向的电场。故两个正交分量之间的折射率差为： $\Delta n = n_0^3 \gamma_{41} E_z$ 。

晶体的长度为 L ，则相位差为 $\delta = (2\pi/\lambda)\Delta nL$ 。

CdTe 晶体两偏振光的相位差 δ 与表面施加的电压 $V_z = E_z L$ 的关系为：

$$\delta = (2\pi/\lambda) n_0^3 \gamma_{41} (L/d) V_z \quad (3)$$

把(3)式代入(1)式，得：

$$R(t) = R_0 \cdot \sin^2 [(2\pi/\lambda) n_0^3 \gamma_{41} (L/d) V_z] \quad (4)$$

在 $0 \sim V_{\lambda/4}$ 范围内，可将 V 的变化近似为线性，因此

(4)式可变为：

$$R(t) = \begin{cases} R_0 \sin^2 \frac{\pi t}{2\tau_c} & (0 \leq t \leq \tau_c) \\ R_0 & (t \geq \tau_c) \end{cases} \quad (5)$$

式中， τ_c 表示 $0 \sim V_{\lambda/4}$ 上升时间，时间 t 的零点取在 V 上升始点。光在腔内传播一个来回所需的时间 $\tau_1 = 2L/c$ 。设在腔倒空过程中，光在腔内传播一个来回所得的增益等于损耗。则输出激光功率 P 的时间特性可表示为：

$$P(t) = \begin{cases} P_0 \cdot R_0 \cdot \sin^2 \pi t / (2\tau_c) & (0 \leq t \leq \tau_1) \\ P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \cos^2 \frac{t - (n-1)\tau_1}{\tau_c} & ((n-1) \cdot \tau_1 \leq t \leq n \cdot \tau_1) \\ R_0 \cdot \sin^2 \pi t / (2\tau_c) & ((n-1) \cdot \tau_1 \leq t \leq n \cdot \tau_1) \\ P_0 \cdot \prod_{i=n}^{n+1} \cos^2 \frac{t - (n-1)\tau_1}{\tau_c} \cdot R_0 & (n \cdot \tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_d) \end{cases} \quad (6)$$

式中， t/τ_c 表示在 τ_c 时间间隔内，等效反射镜 M 在时刻 t 的相位差， $n = \tau_c/\tau_1$ ，在前 n 式中，每式表示从布氏窗透过的 p 方向的偏振光在腔内循环 1 周，部分变成 s 方向的偏振光又从布氏窗反射的激光功率。在 $n+1$ 式中， $\tau_c - n \cdot \tau_1$ 为布氏窗的激光在腔循环 1 周又从布氏窗反射的激光功率^[4]。

图 2 示出了 τ_c 分别为 16ns, 24 ns, 36 ns, 48 ns 时计算出的激光脉冲，可以看出，随着上升沿时间的增加，腔倒空脉冲激光的峰值功率显著下降，而脉冲

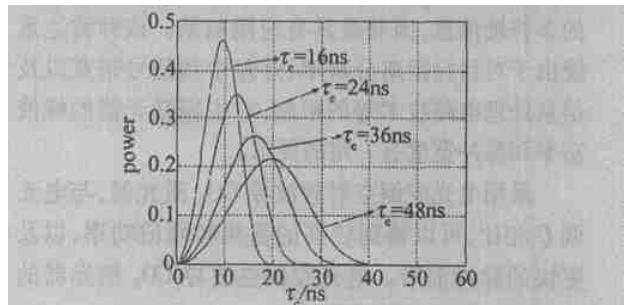


Fig.2 Schematics of cavity dumped waveforms at different rising time of HV pulse on CdTe

宽度增加，总输出能量基本不变。当腔长改变，腔倒空的峰值功率和脉宽都会随着腔长的增大而增加，如图 3 所示。如果改变 s 方向的反射率，随着反射

率的增加,腔倒空脉冲激光峰值功率和脉宽略有增加,但效果不很明显,如图 4 所示。

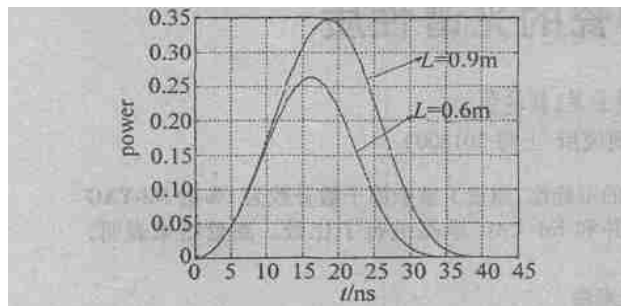


Fig. 3 Schematics of cavity dumped waveforms for different cavity length

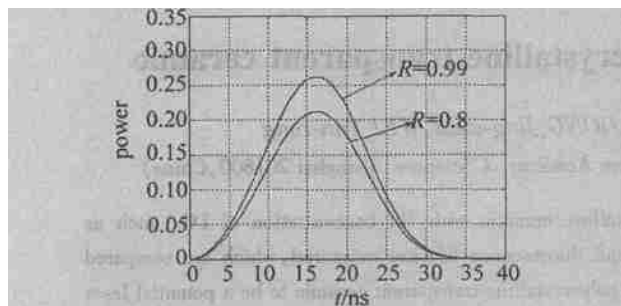


Fig. 4 Schematics of cavity dumped waveforms for different reflectivity of Brewster window

2 实验结果及讨论

实验中,激光器充入比例为 $V(\text{CO}_2) : V(\text{N}_2) : V(\text{He}) = 116:1$ 的气体,总气压约为 10kPa,射频注入功率为 200 W。插入调 Q 装置后,在调 Q 晶体上加上高压脉冲,调整电压幅度,当电压达到 1.8kV 时,即可观察到电光腔倒空脉冲激光输出。脉冲激光输出经衰减后,由带宽为 300MHz 的液氮冷却的光伏 HgCdTe 探测器。带宽为 1GHz 的 TDS684A 数字存储示波器探测和显示光脉冲波形。

在电光腔倒空状态下,采用脉冲重复频率 1Hz~70kHz 可调高压驱动电源。在 60kHz 脉冲重复频率、电压脉冲宽度为 1.5μs 和上升沿时间为 36ns(如图 5 所示)条件下,测得单个腔倒空脉冲波

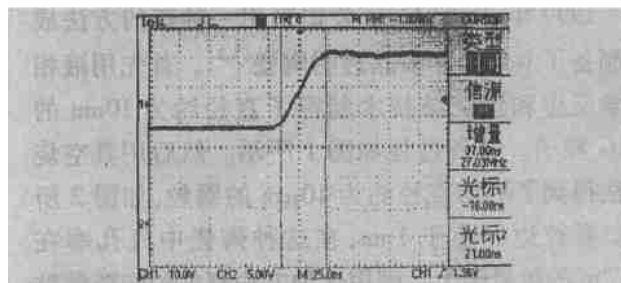


Fig. 5 The rising edge of the HV pulse driver $\tau_e \approx 36\text{ns}$

形实验结果如图 6 所示。由图可见,腔倒空激光脉冲宽度为 21ns,与前面的理论计算值 18ns 极为吻

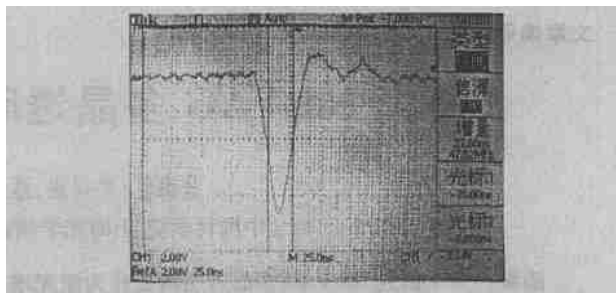


Fig. 6 The picture of cavity dumped output pulse at PRF 60kHz, the pulse width(FWHM) is 21ns

合。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。

图 7 是采用未镀膜的 ZnSe 布氏窗光片所输出的腔倒空波形图。对于未镀膜的 ZnSe 布氏窗,其 s 光的反射率约为 80%。实验所测得的腔倒空脉宽为 19ns。而在同样情况下,采用镀膜 ZnSe 布氏窗的腔倒空脉宽为 21ns。二者的差别与前面的理论分析相吻合。

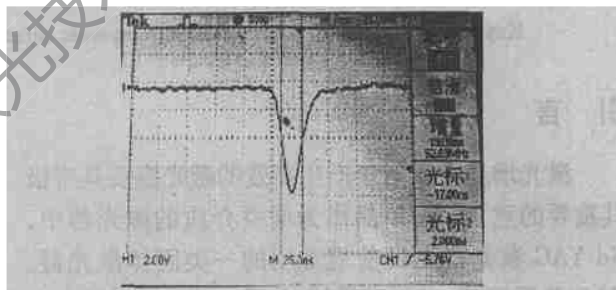


Fig. 7 The output pulse shape when an uncoated Brewster window is used, the pulse width(FWHM) is 19ns

在实验中,还采用在 CdTe 晶体上平联不同电容的方式,来延长加在晶体上的高压脉冲的上升沿时间,从而得到不同的电光开关时间。

腔倒空脉冲波形如图 8 所示,实验中得到脉冲脉宽分别为 24ns 和 30ns 的脉冲。但是脉冲峰值要下降很快。这是因为腔内能量一定,功率与时间成反比,时间增加,峰值功率下降。如果想增加峰值功率,可以通过增加腔长的办法。

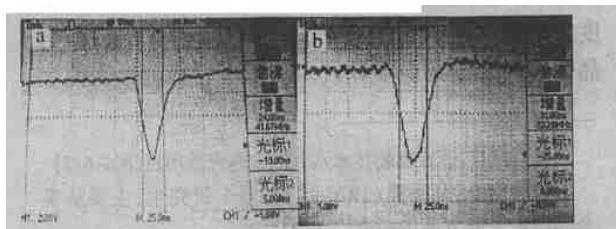


Fig. 8 The output pulse shapes when different rising time of HV pulse is applied to the CdTe a - $\tau_e \approx 24\text{ns}$ b - $\tau_e \approx 31\text{ns}$

2.3 人脸面具

图 9 中的两幅图像是左右两 CCD 捕获得一对投影散斑的阶梯物体的立体图像对,图 10 是此图像对的匹配结果,图 11 是对该视差图的三维显示(各坐标均以像素为单位)。

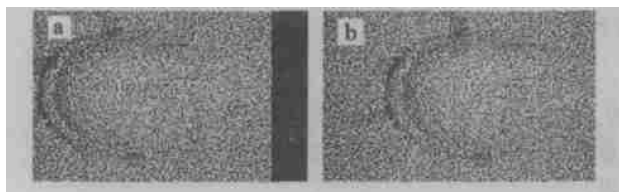


Fig. 9 The pair of images for object 4
a—left image b—right image

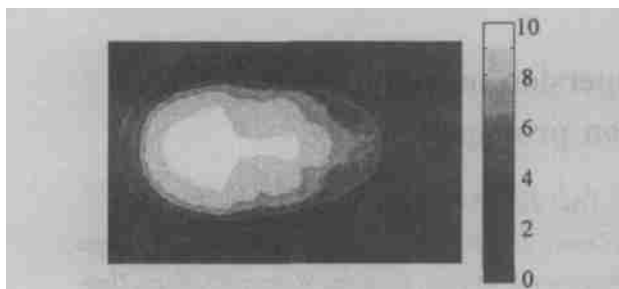


Fig. 10 The disparity map(145 pixels have been removed)

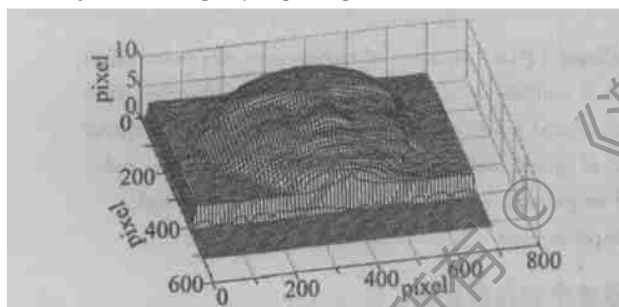


Fig. 11 3-D display of the disparity

3 结 论

针对双目视觉中特征缺乏的表面的三维重建问题,提出采用数字微镜装置投影随机位置散斑的方法实现立体匹配。在匹配过程中,采用了快速区域相关算法,以弥补相关运算的速度缺陷;多窗口算法,考虑匹配区域的关联性;亚像素定位,以提高匹配精度。最后对 5 种模型进行匹配实验,获取了令人满意的浓密的视差图。辅助散斑照明的引入,降低了立体视觉系统的灵活性。但是,对于弱纹理和无纹理的表面的三维重建,辅助照明引入的特征是立体匹配所必须的。

参 考 文 献

- [1] BARNARD S J, FISCHLER M A. Computational stereo [J]. *ACM Computing Surveys*, 1982, 14: 553~572.
- [2] CHEN Y Sh, CHEN B T. Measuring of a three-dimensional surface by use of a special distance computation [J]. *Appl Opt*, 2003, 42(11): 1958~1972.
- [3] 代红军, 苏显渝. 数字散斑时间序列相关三维面形测量方法 [J]. *光学学报*, 2001, 21(10): 1208~1213.
- [4] 曾吉勇, 苏显渝. 浓密视差图的快速提取 [J]. *光学技术*, 2004 (1): 40~43.
- [5] SUN Ch M. Fast stereo matching using rectangular subregioning and 3-D maximum surface technique [J]. *IJCV*, 2002, 47(1/2/3): 99~117.
- [6] HIRSCHMÜLLER H, INNOCENT P, GARIBALDI J. Real-time correlation-based stereo vision with reduced border errors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2002, 47(1~3): 229~246.
- [7] 曹益平, 苏显渝, 向立群. 数字微镜期间的时空特性 [J]. *激光杂志*, 2002(5): 16~18.

参 考 文 献

- [1] AHLBERGH, LUNDQVISTS, LETALICK D *et al.* Imaging Q-switched CO₂ laser radar with heterodyne detection: design and evaluation [J]. *Appl Opt*, 1986, 25(17): 2891~2892.
- [2] PEARSON G N, RYEB J. Frequency fidelity of a compact CO₂ Doppler lidar transmitter [J]. *Appl Opt*, 1992, 31(30): 6475~6484.
- [3] CHOI J W, JUAN Y B, STRZELES *et al.* Frequency stabilization of excited CO₂ lasers [J]. *SPIE*, 2002, 3729: 786~787.
- [4] 刘敬海, 徐敬普. 激光器件与技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995. 164~167.
- [5] 叶青, 胡渝, 曾昭信 *et al.* 碲化镉电光调制器性能研究 [J]. *红光技术*, 1996, 18(6): 7~10.
- [6] 克希耐尔 W. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 422~424.
- [7] 田兆硕, 王骥, 王雨三. 电光腔倒空与调 Q 射频波导 CO₂ 激光器 [J]. *光学学报*, 2000, 20(12): 1613~1616.

(上接第 487 页)

实验中还发现,当增加高压脉冲宽度到 4.5 μs 时,在腔倒空之后还有一个调 Q 激光脉冲输出。当高压脉冲宽度小于 3 μs 时,可以消除该调 Q 脉冲而只有腔倒空输出。原因可参见文献 [7]。

3 结 论

通过理论分析和实验结果可知,随着激光器腔长的增加,腔倒空峰值功率和脉宽都增加。且随着高压脉冲上升沿时间的增加,腔倒空的峰值功率下降,脉宽增加;增加布氏窗输出反射率,功率和脉宽略有增加。为了满足脉冲外差成像雷达对激光脉宽及峰值功率的特殊要求,可采用增加增益长度和改变腔倒空电压上升速率的办法予以解决。