

文章编号: 0258-7025(2001)02-0130-03

电光调 Q 脉冲激光外差研究

王春晖 田兆硕 王 骐

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室 哈尔滨 150001)

摘要 采用高斯函数模拟电光调 Q 射频激励波导 CO₂ 激光器输出脉冲激光的波形,在理论上研究了脉冲激光外差的波形及其傅里叶变换频谱成分,并在实验上测量了脉冲激光外差的波形及其傅里叶变换频谱,理论分析与实验结果一致。

关键词 脉冲激光外差,电光调 Q,射频激励波导 CO₂ 激光器

中图分类号: TN 248.2+2 文献标识码: A

Study of Heterodyne of Q-switched Pulse Laser

WANG Chun-hui TIAN Zhao-shuo WANG Qi

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract In this paper, the pulse laser waveform output from RF excited waveguide CO₂ laser is fitted by Gauss function. The waveform of pulse laser heterodyne and its frequency spectrum of Fourier transform are studied in theory and experiment. The experimental results are consistent with that of theory.

Key words pulse laser heterodyne, Q-switched, RF excited waveguide CO₂ laser

1 引 言

激光外差现象已广泛应用于激光雷达、高分辨分子光谱学、计量测试、气体成分分析等许多领域^[1-3]。目前,人们已对连续激光外差现象进行了详细的理论与实验研究^[4]。虽然脉冲激光相干雷达在国外已有报道^[5,6],但还未见对于脉冲激光外差现象进行较直观的理论分析。本文采用高斯函数模拟电光调 Q 射频激励波导 CO₂ 激光器输出脉冲激光的波形,在理论上研究了脉冲激光外差的波形及其傅里叶变换频谱成分,并在实验上测量了脉冲激光外差的波形及其傅里叶变换频谱,理论分析与实验结果一致。

2 激光外差理论

2.1 连续激光外差

在光外差检测中,假设本机振荡光场为 $E_L \cos \omega_L t$, 信号光场为 $E_S \cos \omega_S t$ 。其中 E_L 和 E_S 分别

为本振光波和信号光波的电场振幅, ω_L 和 ω_S 分别为本振和信号光波的角频率。两种不同频率 (ω_L 和 ω_S) 的电磁波以适当方式在光探测器上进行混频,则探测器的输出电流由下式给出

$$i_p = a \left[\frac{E_S^2}{2} + \frac{E_L^2}{2} + E_S E_L \cos(\omega_S - \omega_L)t \right] = i_{dc} + i_{mf} \quad (1)$$

其中, a 为与探测器的量子效率有关的比例因子; i_{dc} 为直流项; i_{mf} 为差频项。

若把信号测量限制在差频的带通附近,把差频选为接收机的中心频率以提高其接收灵敏度,此时公式(1)变成

$$i_{mf} = a E_S E_L \cos(\omega_S - \omega_L)t \quad (2)$$

因此由探测器探测到的连续外差信号,在示波器上应显示为正弦或余弦信号波形。

2.2 电光调 Q 脉冲激光外差

为了理论分析方便,可以近似采用高斯函数波形模拟调 Q 脉冲激光波形,模拟结果如图 1 所示。

图中实线波形为调 Q 脉冲激光理论波形,虚曲线为高斯函数模拟波形。所采用的高斯函数为

$$y(t) = y_0 + \frac{A}{w \sqrt{\pi/2}} \exp \left[-2 \frac{(t - t_C)^2}{w^2} \right] \quad (3)$$

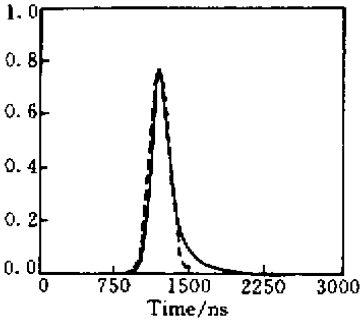


图 1 电光调 Q 脉冲激光波形及其模拟波形
Fig.1 Electrooptically Q- switched laser pulse waveform and its simulated waveform

式中 y_0, A, n, t_c 为模拟常数, 根据被拟合的波形曲线来确定。因此调 Q 脉冲激光电场强度可表示为

$$E_S(t) = E_S \sqrt{y(t)} \cos(\omega_S t) \quad (4)$$

此处 E_S 为调 Q 脉冲激光峰值电场强度。由调 Q 脉冲激光与连续本振激光产生的差频电流信号, 由探测器输出可表示为

$$i_p(t) = a \left[\frac{E_S^2(t)}{2} + \frac{E_L^2}{2} + E_S(t)E_L \cos(\omega_S - \omega_L)t \right] = i_d(t) + i_{mf} \quad (5)$$

其中 $i_d(t)$ 不再为直流项, 而是与调 Q 脉冲激光波形有关的变化量。

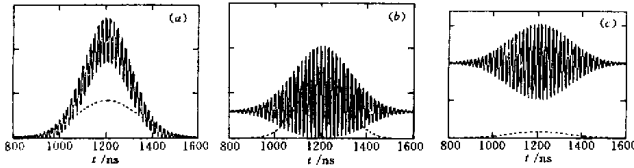


图 2 脉冲激光外差波形与调 Q 脉冲激光波形比较

Fig.2 Heterodyne waveform of the pulsed laser and the cw laser comparing to pulse waveform of Q- switched laser

(a) $E_S = 10E_L$; (b) $E_S = E_L$; (c) $10E_S = E_L$

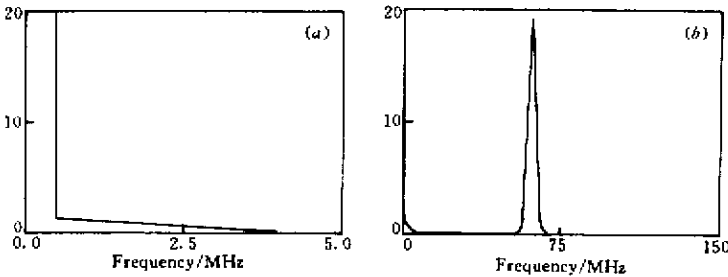


图 3 脉冲激光外差波形傅里叶变换的频谱

Fig.3 Spectrum of Fourier transform of heterodyne waveform of the pulsed laser

在相干激光雷达外差检测系统中, 中频必须高于目标多普勒频率值, 使光混频器输出不致于产生零频附近的外差信号, 所以激光外差检测系统的中频值比较高, 一般选择中频值范围为 60 ~ 150 MHz。当差频 $\omega_S - \omega_L = 60$ MHz 时, 由探测器输出的电流信号波形如图 2 所示, 图中振荡的实曲线为调 Q 脉冲激光与连续本振激光外差波形, 虚线为调 Q 脉冲激光波形, 图中 (a) (b) (c) 分别为 $E_S = 10E_L$, $E_S = E_L$, $10E_S = E_L$ 条件下的脉冲外差波形与脉冲激光波形。从图中可见在 $E_S > E_L$ 时, 脉冲外差波形显示出明显的脉冲激光轮廓, 而当 $E_S < E_L$ 时, 脉冲外差波形已无明显的脉冲激光轮廓, 因此相干激光雷

达接收到的回波电流信号应如图 2 (c) 所示。采用 Mathcad 计算机语言对图 2 中脉冲外差波形进行傅里叶变换可得到脉冲外差频谱 (见图 3)。图 3 (a) 中对应的是脉冲激光波形的频谱约为 0 ~ 5 MHz, 图 3 (b) 中对应的是 60 MHz 差频信号的频谱。实际上不同光强的脉冲激光与本振激光的外差频谱成分相同, 只是频谱强度不同。

3 实验结果及讨论

实验装置如图 4 所示, 电光调 Q 射频激励波导 CO₂ 激光器在调 Q 运转状态下, 脉冲重复频率 1 Hz

~ 10 kHz 可调,晶体所加 $\lambda/4$ 电压为 2.65 kV。在脉冲重复频率为 10 kHz 时,脉冲激光输出经衰减后,由带宽为 300 MHz 的液氮冷却光伏 HgCdTe 探测器测量脉冲波形。用带宽 1 GHz 的美国 TDS684A 数字存储示波器显示光脉冲波形,测得的调 Q 激光脉冲波形如图 5 所示,激光脉冲宽度为 180 ns,调 Q 光脉冲建立时间为 750 ns,加在晶体上的 $\lambda/4$ 电压脉冲宽度为 3 μ s,采用 Coherent 公司 Model201 功率计测得平均功率为 0.3 W,可得出光脉冲峰值功率为 150 W。

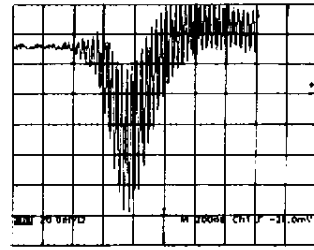


图 6 脉冲激光与连续激光外差信号
Fig.6 Heterodyne waveform of the pulsed laser and the cw laser

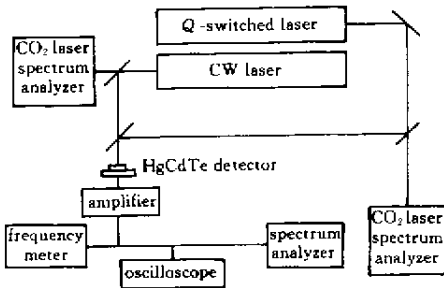


图 4 实验装置图
Fig.4 Schematic of the experimental arrangement

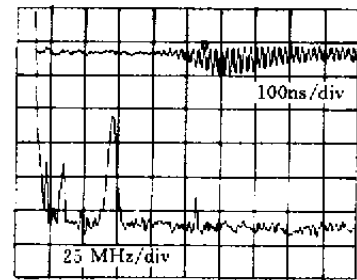


图 7 脉冲激光外差波形及其傅里叶变换频谱
Fig.7 Heterodyne waveform of the pulsed laser and its frequency spectrum of Fourier transform

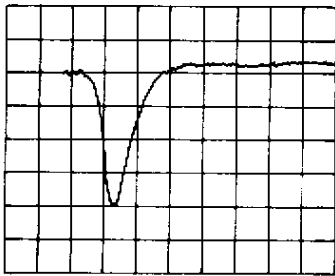


图 5 电光调 Q 激光脉冲波形
(脉冲重复频率 10 kHz, 200 ns/div)

Fig.5 Electrooptically Q-switched laser pulse waveform at the PRF of 10 kHz(200 ns/div)

电光调 Q 射频激励波导 CO₂ 激光器与一连续输出的射频激励波导 CO₂ 本振激光器同时输出 P(20) 支激光,两束激光合束后,当脉冲激光的峰值电场强度远大于连续激光的电场强度时,在示波器上观察到的脉冲激光外差波形如图 6 所示,此时激光外差频率为 60 MHz。图中脉冲激光外差波形尾部较强,这与图 2 中的理论曲线有所差别,原因是采用高斯函数模拟调 Q 脉冲激光波形时,忽略了调 Q 脉冲激光的拖尾,所以理论曲线中无脉冲激光波形尾部外差。如调节压电陶瓷上的电压,可在频谱分析仪上观察到脉冲外差频率变化。

在 TDS684A 示波器上可以同时脉冲激光外差波形进行快速傅里叶变换,当外差中频信号为 60 MHz 时,脉冲激光外差波形及其傅里叶变换频谱如图 7 所示,图中 0~5 MHz 频谱强度下降很快,为脉冲激光的频谱;60 MHz 处有一个较强的频谱峰,为外差中频信号的频谱,其余频谱为电源、探测器前放的干扰频谱,可见与图 3 理论分析的频谱一致。

参 考 文 献

- 1 G. N. Pearson, B. J. Rye. Frequency fidelity of a compact CO₂ Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(30): 6475 ~ 6484
- 2 Cai Shanming, Ji Shifan. Applied prospect of coherent laser radar in precise guidance. *Infrared and Laser Technology* (红外与激光技术), 1991, **20**(2): 13 ~ 17 (in Chinese)
- 3 Wen Dongxu, Guo Jingru. Analysis of signal of infrared laser heterodyne gas analyser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1983, **3**(2): 138 ~ 145 (in Chinese)
- 4 Xiong Huifeng. *Laser Radar*. Space Navigation Publication, 1994. 112 ~ 115 (in Chinese)
- 5 Nicholas J. D. Martin. Experimental 10.6 μ m pulsed coherent laser rangefinder systems. *SPIE*, 1987, **806**: 119 ~ 121
- 6 Henrik Ahlberg, Stefan Lundqvist, Dietmar Letalick et al.. Imaging Q-switched CO₂ laser radar with heterodyne detection: design and evaluation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17): 2891 ~ 2898