

## 通频带宽对脉冲激光波形测量的影响

田兆硕 王 骐 王雨三

(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:** 在理论上分析了电光调 Q CO<sub>2</sub> 激光脉冲经过不同通频带宽的测量系统时产生的波形失真情况, 并且得出了通频带宽对测量波形影响的规律, 同时在实验上研究了电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光脉冲经过一定通频带宽的测量系统时, 激光脉冲波形的失真情况, 实验结果与理论分析一致。

**关键词:** 通频带宽 激光脉冲 测量系统 波形失真

### Influence of the pass band on measurement of laser pulse

Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Yusan

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

**Abstract:** The effect of the width of pass band on the distortion measurement of Q-switched laser pulse is studied theoretically and some regular conclusions are drawn. In addition, the RF excited Q-switched laser pulses are detected by detecting system with a certain width of pass band and the distortion of waveform is observed. The experimental results are consistent with the theoretical results.

**Key words:** pass band laser pulse detecting system distortion of waveform

## 引 言

对脉冲激光进行测量时, 往往测得的脉冲波形并非脉冲激光的真实波形, 有时“失真”很大, 其中一个主要原因, 就是测量脉冲激光的探测器、放大器及处理电路存在着一定的通频带宽, 当进行测量时, 脉冲激光的一部分频谱成分被过滤掉了, 因此, 测量的脉冲激光波形存在着“失真”<sup>[1, 2]</sup>。

电光调 Q CO<sub>2</sub> 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、成像制导等诸多方面<sup>[3~6]</sup>。我们在理论上分析了电光调 Q CO<sub>2</sub> 激光脉冲经过不同通频带宽的测量系统时产生的波形失真情况, 并且得出了通频带宽对测量波形影响的规律, 同时, 在实验上研究了电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光脉冲经过一定通频带宽的测量系统时, 激光脉冲波形的失真情况, 实验结果与理论分析一致。

## 1 理论分析

对于不同种类的脉冲激光器, 发射的脉冲激光波长、波形、峰值功率及脉冲宽度等参数不同, 需要不同的探测器, 而探测器及其放大处理系统的通频带宽对于探测的脉冲激光波形的影响尤为严重, 我们以电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光脉冲的理论波形经过一定带宽的探测系统为例, 在理论上说明通频带宽对脉冲激光波形测量的影响。

我们已经在理论上详细地分析了电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器的动力学方程, 采用

Runge-kutta 数值计算方法及 Mathcad 计算机语言, 计算出电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器的脉冲激光波形, 如图 1 所示。其中脉冲宽度 220ns, 峰值功率 155W, 拖尾现象明显。下面分 3 种情况分析通频带宽对脉冲激光波形测量的影响。

### 1.1 脉冲激光经过低通探测系统

对图 1 的脉冲激光波形进行快速傅里叶变换, 其频谱成分如图 2 所示, 可见脉冲激光波形频谱较

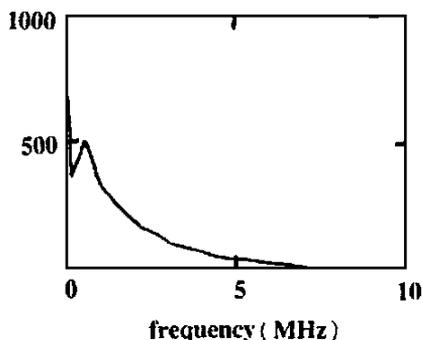


Fig. 2 Fourier transform frequency spectrum of Q-switched pulse laser

宽。当脉冲激光波形经过低通滤波时, 其中高频部分将被滤掉, 从而使波

形失真。假设探测系统的通频带宽为 3MHz (如图 3 所示), 对经过此探测系统后的脉冲激光波形频谱进行傅里叶逆变换, 可以得出经过此探测系统后的脉冲激光波形 (如图 4 中实线所示)。图 4 中虚线为未经过探测系统的脉冲激光实际波形, 二者比较可以得出结论: 脉冲激光波形经过低通探测系统后脉冲波形宽度加宽, 而脉冲拖尾的波形基本未变。

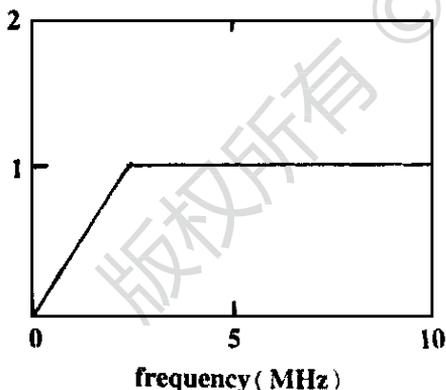


Fig. 5 The bandwidth of the high-pass detecting system

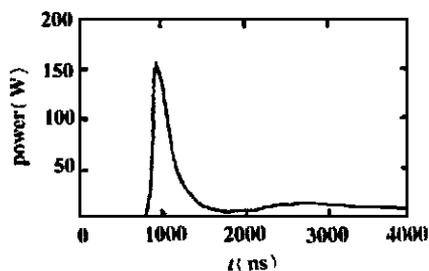


Fig. 1 Waveform of Q-switched pulse laser

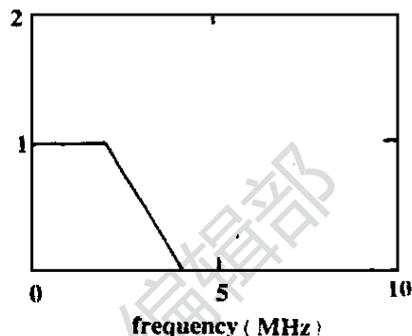


Fig. 3 The bandwidth of the low-pass detecting system

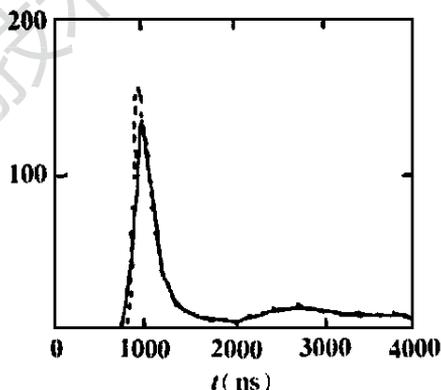


Fig. 4 Dashed line—the waveform before detection  
solid line—the waveform after detection

由于假设

此探测系统的增益最大为 1, 故经过探测系统后脉冲峰值下降, 而实际探测系统的增益往往大于 1, 所以, 脉冲峰值可以很高, 但整体波形不变。

### 1.2 脉冲激光经过高通探测系统

当脉冲激光波形经过高通探测系统时, 其中低频部分将被滤掉, 从而使波形失真。假设探测系统的通频带大于 3MHz (如图 5 所示), 对经过

此探测系统后的脉冲激光波形频谱进行傅里叶逆变换,可以得出经过此探测系统后的脉冲激光波形(如图6中实线所示)。图6中虚线为未经过探测系统的脉冲激光实际波形,二者比较可以得出结论:脉冲激光波形经过高通探测系统后脉冲波形宽度减小,脉冲拖尾的波形幅度变小。

### 1.3 脉冲激光经过带通探测系统

当脉冲激光波形经过带通探测系统时,其中部分高频成分和低频成分将被滤掉,从而使波形失真。假设探测系统的通频带宽为 1.5 ~ 2.5MHz (如图7所示),对经过此探测系统后的脉冲激光波形频谱进行傅里叶逆变换,可以得出经过此探测系统后的脉

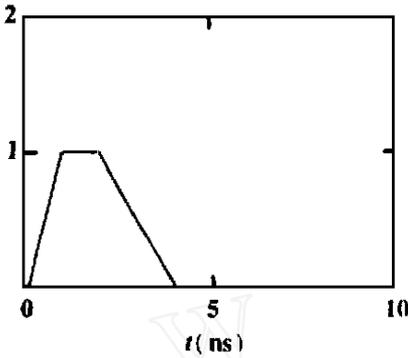


Fig. 7 The bandwidth of the band-pass detecting system

冲激光波形(如图8中实线所示)。图8中虚线为未经过探测系统的

脉冲激光实际波形,经过分析可以得出结论:脉冲激光波形经过带通探测系统后脉冲波形宽度由通频带宽与通频带的频率决定,可能增加也可能减小,脉冲拖尾的波形变小。

## 2 实验结果与理论分析比较

实验中,研究了光栅选支电光 Q 开关射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器经过一定通频带宽探测系统后,脉冲激光波形变化情况。激光器工作条件是气体比例  $V(\text{CO}_2) : V(\text{N}_2) : V(\text{He}) = 1 : 1 : 3$ , 充气气压 8kPa, 射频注入功率 200W, 射频源频率

120MHz。在调 Q 运转状态下,脉冲重复频率 1Hz ~ 10kHz 可调,CdTe 调 Q 晶体所加  $V/4$  电压为 2.65kV。在脉冲重复频率 10kHz 时,脉冲激光输出经衰减后,脉冲激光输出经衰减后,由液氮冷却的光伏 HgCdTe 探测器,测量脉冲激光波形。经测定 HgCdTe 探测器前置放大器的增益带宽如图 9 所示。用带宽 1GHz 的美国 TDS684A 数字存储示波器显示光脉冲波形,显示结果如图 10 所示,其下面波形为晶体上  $V/4$  方波电压脉冲,对应的上面为调 Q 激光脉冲波形,光脉冲宽度为 200ns,峰值功率为 150W。由于此时探测器及其前置放大器近似属于高通

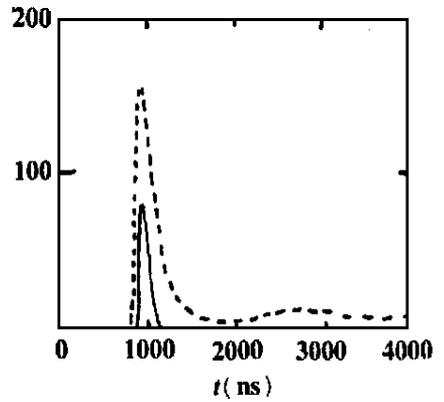


Fig. 6 Dashed line—the waveform before detection solid line—the waveform after detection

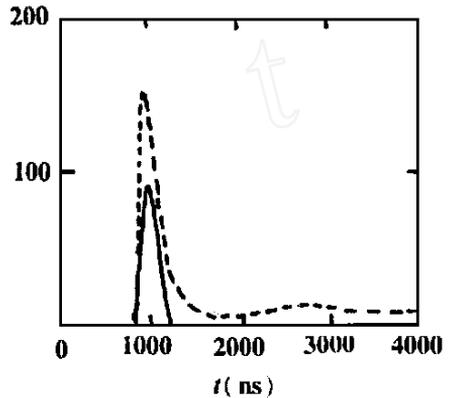


Fig. 8 Dashed line—the waveform before detection solid line—the waveform after detection

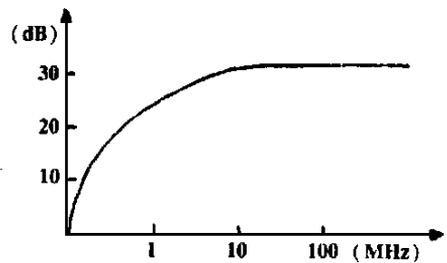


Fig. 9 Gain bandwidth of the preamplifier



Fig. 10 Laser pulse waveform at the pulse repetition rate of 10kHz (500ns/div) and signal of voltage pulse

探测系统, 调 Q 激光脉冲的低频成分被过滤掉, 因此, 从图 10 观察不到脉冲激光的拖尾。

HgCdTe 探测器前置放大器

更换为具有图 11 所示增益带宽的前放, 则由示波器显示的光脉冲波形如图 12 所示。因此时探测器及其前置放大器属于低通探测系统, 并且带宽较宽, 故可以真实反映调 Q 激光脉冲及其拖尾的实际波形。当如图 1 所示的脉冲激光理论波形分别经过如图 9、图 11 所示增益带宽的前置放大器后, 采用傅里叶频谱分析的方法可求出脉冲激光信号经过此探测系统后的理论波形 (如图 13 所示)。图 13 中实线为脉冲激光信号经过如图 9 所示增益带宽的前置放大器后的波形, 图 13 中虚线为脉冲激光信号经过如图 11 所示增益带宽的前置放大器后的波形, 可见理论分析与图 10、图 12 的测量结果一致。由于从电光 Q 开关射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器输出激光的脉冲宽度为 150 ~ 200ns, 根据前述的理论分析方法, 可计算出采用至少 5MHz 带宽的低通探测系统, 可以保证测量的脉冲激光波形不失真, 而采用高通或带通探测系统则会引起测量波形的失真。对于脉冲宽度更窄的其它种类激光器, 如果保证测量的脉冲激光波形不失真, 则需采用带宽更宽的低通探测系统。

参 考 文 献

- 1 熊辉丰. 激光雷达. 北京: 宇航出版社, 1994
- 2 郑君里, 扬为理, 应启行. 信号与系统(上册). 北京: 高等教育出版社, 1999
- 3 Ahlberg H, Lanqvist S. Appl Opt, 1986; 25(17): 2891 ~ 2892
- 4 Piltingsrud H V. Appl Opt, 1991; 30(27): 3952 ~ 3963
- 5 Pearson G N, Rye B J. Appl Opt, 1992; 31(30): 6475 ~ 6484
- 6 王 骐, 田兆硕, 王雨三 *et al.* 中国激光, 2000; A27(2): 97 ~ 100

\* \* \*

作者简介: 田兆硕, 男, 1970 年 12 月出生。讲师, 博士。主要从事激光技术激光雷达等方面的研究工作。

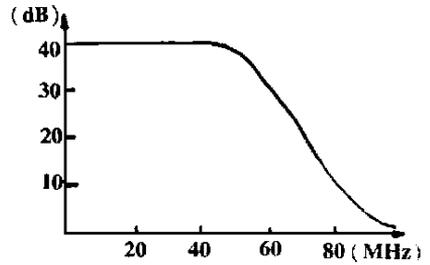


Fig. 11 Gain bandwidth of the preamplifier

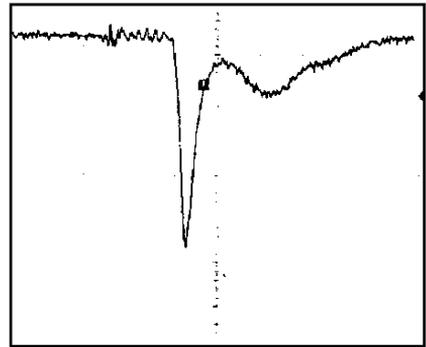


Fig. 12 Laser pulse waveform (500ns/div)

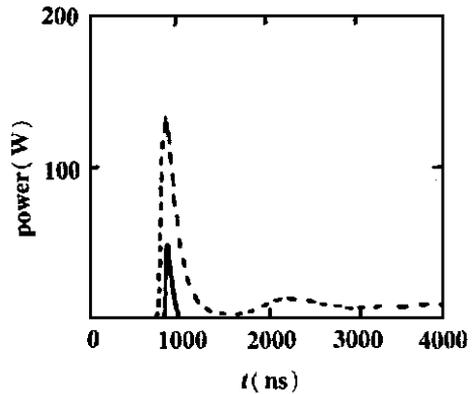


Fig. 13 Theoretical waveforms after pulse laser signal passing through preamplifiers with different bandwidth