

# 高功率激光系统中的脉冲整形

支婷婷 顾冠清 陈兰荣 杨 义

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

吴克勤 陈石龄

(上海科学技术大学物理系, 上海 201800)

## 提 要

一台脉冲整形器, 完成对调  $Q$  ns 激光脉冲的整形, 输出 1 ns 主脉冲, 上升和下降时间  $< 400$  ps。在测试仪器精度极限范围内, 主脉冲与诊断短脉冲同步的时间抖动  $< 100$  ps。

关键词: 脉冲整形, 高功率激光系统。

## 一、引 言

由于激光核聚变的实验需要, 高功率激光系统的主脉冲在照射靶的时间过程中, 要求一种特殊的形状。它不可能通过激光系统直接产生, 并且时间过程的变化, 依靠不同的激光源来实现也是十分困难的。通常采用对主脉冲在时间上的整修方法<sup>[1]</sup>。本文报道一台脉冲整形器, 对 ns 长脉冲整形出上升、下降时间  $< 400$  ps, 脉宽 1 ns 的光脉冲, 并且脉宽变化可进行调节。由于测试仪器精度所限, 实验实现主脉冲与短脉冲 (80 ps) 的同步精度  $< 100$  ps, 它为开展主脉冲与诊断光的核聚变实验奠定了基础。

## 二、物 理 描 述

脉冲整形器, 包括四部分: (1) 相互并联的一对硅半导体微带型光导开关; (2) 一定负载输出的脉冲高压源; (3) 匹配合适充电电阻的一定长度的微带线段; (4) 一对并联一体的普克尔盒开关。

半导体光导开关在光激励下的电导变化<sup>[2]</sup>:

$$G = (N_0 + N)e\mu/L^2, \quad (1)$$

式中  $N_0$  为静态下载流子的平衡数,  $N$  为光作用产生的载流子密度,  $L$  为电极间隔;  $e$  为电荷;  $\mu$  为半导体的迁移率。(1) 式表明, 电导强弱 (指饱和态), 主要决定两个因素, 即极间距和光照后产生的载流子密度。对硅材料, 在高偏压下, 极间距太近, 会引起极间击穿, 一次击穿发生, 一个高的电导通道在二极间形成, 开关的作用就被破坏了。半导体的高压击穿, 主要发生在半导体材料和金属接触部分, 在高偏压下, 两者间的暗漏电引起。因此, 选择本征

硅, 并进行在高偏压下的低漏电处理<sup>[3]</sup>, 合适的间距和脉冲式高压直流源, 才能保持开关的功能。

理想的脉冲成形线路<sup>[4]</sup>, 输出电压的宽度  $D$  由下式决定

$$D = 2l/v, \tag{2}$$

式中  $l$  为开关元件前微带线段的长度;  $v$  为波在传输线内电子运行速度。通常光导开关的成形线路与理想成形线路是不同的, 只有当开关接近零隙电阻、电压充电时间很快的情况下, 才接近理想成形。因此, 对光导开关的成形, 必须合适地选用充电电阻和尽可能小的开关电阻  $R_{开}$ 。充电电阻不合适, 脉宽的成形不理想;  $R_{开}$  太大, 开关的效率也减低。通常, 用“开通”电阻  $R_{开}$  来标志开关的效率<sup>[5]</sup>:

$$R_{开} = R_{接触} + R_{*}, \tag{3}$$

$$R_{*} = h\nu LV_0/2v_0eE, \tag{4}$$

$$R_{接触} = [(V_{\lambda}/V_{出}) - 2]z_0 - R_{*}, \tag{5}$$

式中  $R_{*}$  为半导体在导通时的电阻,  $R_{接触}$  为半导体与金属接触部分的导通电阻,  $E$  为入射光能;  $v_0$  为载流子饱和速度;  $z_0$  为特性阻抗, 输出电压的振幅为  $(V_0/2)$ ,  $V_0$  为输入开关的电压,  $\nu$  为光频,  $h$  为普朗克常数。由上式表明, 在  $R_{开}$  为几个  $\Omega$  时, 开关效率  $\eta = (V_{\lambda}/2V_{出})$  能达到 90% 以上、电脉冲形状接近理想。本文采用二个并联的硅开关, 第二个开关一端接地, 它的目的有助于输出电脉冲后沿的变陡, 促进成形。

普克尔盒开关由二块 KD\*P 晶体相并联而成, 在普克尔盒上施加  $\lambda/4$  电压, 实现对光偏振面  $\pi/2$  偏转, 同时, 在制作工艺中, 做到最小电容<sup>[6]</sup>  $\sim 4\sim 6$  pf, 获得快速电光响应时间。

### 三、实验布置

调 Q ns 光脉冲整形的实验布置示意图如图 1 所示。它由一台主被动锁模振荡器组成

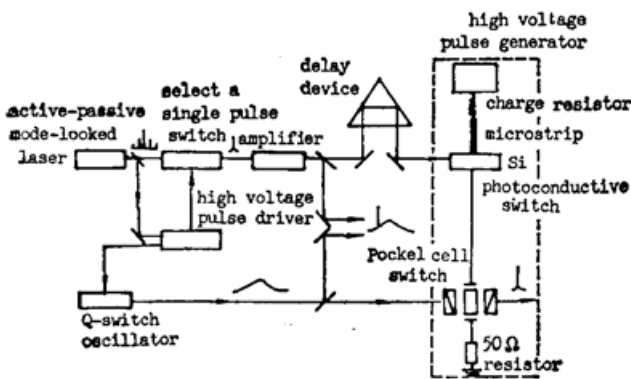


Fig. 1 Experimental apparatus of optical pulse is shaped

短脉冲源, 选出的单脉冲宽度 (FWHM) 约 80 ps。长脉冲源是一台调 Q 激光器, 电光调 Q 的电信号与锁模脉冲序列选单脉冲的电信号, 是由一台雪崩管高压驱动源提供。同时设计合适的振荡腔结构及长、短二台激光器氙灯触发的相对延迟, 这样控制了腔的增益及调 Q 输出脉冲的时间, 实现了二台激光器的初步同步, 使输出单脉冲与调 Q 脉冲包络顶峰间的距离在 10~20 ns 之间, 抖动  $\pm 5$  ns 左右。图中的虚线方框, 即一台脉冲整形器。

微带线段长度成形为 1 ns, 充电电阻的大小, 根据偏压电源负载及硅光导开关对承受高压的能力, 选用 500  $\Omega$ 。雪崩管电压源提供 6 kV 高压, 脉宽 1  $\mu$ s。一对 KD\*P 普克尔盒的半波电压  $\sim 3$  kV。

### 四、实验结果

由条纹相机拍摄得到的 80 ps 短脉冲照片如图 2 所示。图 3 是长短脉冲同步照片。可以看到由于调 Q 多模振荡引起的长脉冲包络的调制很明显。微带型硅光导开关的制作是成功的,对 1 μs 脉冲偏压源,能承受 6 kV 高压;对 38 ns 的脉冲偏压源,能承受 10 kV 高压。图 4 中的二条曲线分别表示不同脉宽偏压源下,光导开关的暗电流与施加不同高压的对应关系,曲线表明施加偏压脉宽的大小对漏电流影响很大。用 500 兆示波器拍摄在短光脉冲激励一组光导开关后输出的电脉冲如图 5 所示。左边为电脉冲,右边是该电脉冲驱动整形器内的普克尔盒开关,从调 Q ns 激光脉宽中削出的光脉冲。它们之间的同步抖动,是通过此电脉冲与光脉冲在示波器上同时显示多次来反映。经多次观察,分不出光、电脉冲间距的相对移动,说明在本实验测试精度极限下,二者同步精度 < 100 ps。同时,观察出 1 ns 光脉冲的半宽比电脉冲宽,这是普克尔盒和光脉冲探测管(本实验中采用强流光电管)的响应时间所影响。也显示电脉冲的响应时间是较快的。本台脉冲整形器,电传输阻抗为 50 Ω,光电转换的总的响应时间,是通过条纹相机对最后削出的 1 ns 的光脉冲前沿进行测试的,测得 ~400 ps,它是光导开关响应时间,普克尔盒电光开关响应时间以及微带传输和其它元件响应时间的总和。以上实验结果,是在 1.06 μm 激光辐照光导开关下取得,光能为 200 μJ。

开关的“打通”电阻,根据(3)、(4)、(5)式求得。在本实验中,采用二种实验方案。按图 1 的整形器装置,高压脉冲源为雪崩管 6 kV、1 μs 宽的高压脉冲输出,经充电电阻 500 Ω,充电至 50 Ω 微带线段和硅开关的电压 ~2.7 kV, 200 μJ 光能辐照,获得输出电脉冲振幅

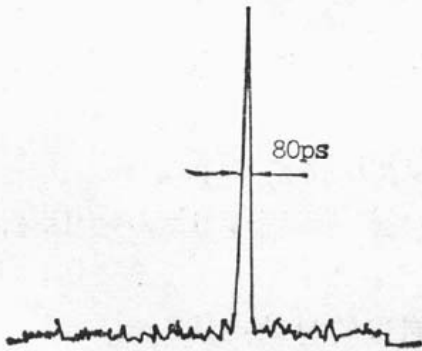


Fig. 2 Single pulse waveform from a mode-locked oscillators

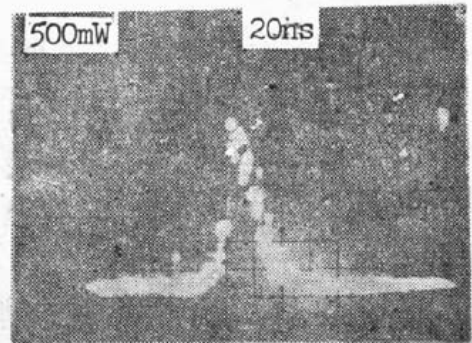


Fig. 3 Synchronization of the long and short pulses

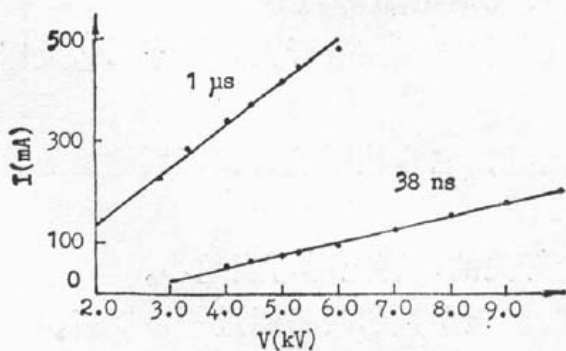


Fig. 4 Variation of dark current with input voltage for different voltage pulse duration

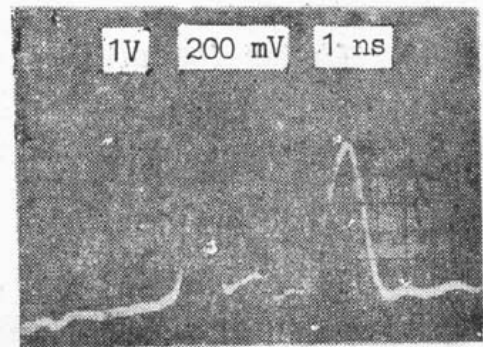


Fig. 5 Synchronization of 1 ns optical pulse and 1 ns voltage pulse

$\sim 1.2\text{ kV}$ , 求得  $R_{\text{开}}$  为  $9.6\ \Omega$ , 第二实验方案是利用  $38\text{ ns}$  宽、 $4\text{ kV}$ 、 $50\ \Omega$  输出的冷阴极管高压脉冲源, 直接输入硅开关, 不采用充电电阻成形, 二个并联的硅开关分别起了“开通”和“关闭”的作用。这样获得的输出电脉冲宽度, 可通过辐照开关的光延迟进行调节<sup>[6]</sup>。(见图 6)。实验中输入电压  $3.6\text{ kV}$ , 输出电压  $\sim 2.96\text{ kV}$ , 算得  $R_{\text{开}} \sim 9.7\ \Omega$ 。实验表明, 前方案对输出电脉冲的调节, 可通过不同微带线段成形而实现, 后者是通过光延迟的改变来实现。此外,  $50\ \Omega$  输出的脉冲高压源, 输出光导开关的电压真实值, 相当于原值的二倍, 而非雪崩管输出的脉冲高压源, 经  $50\ \Omega$  传输线传输后, 电压真实值降低了许多。

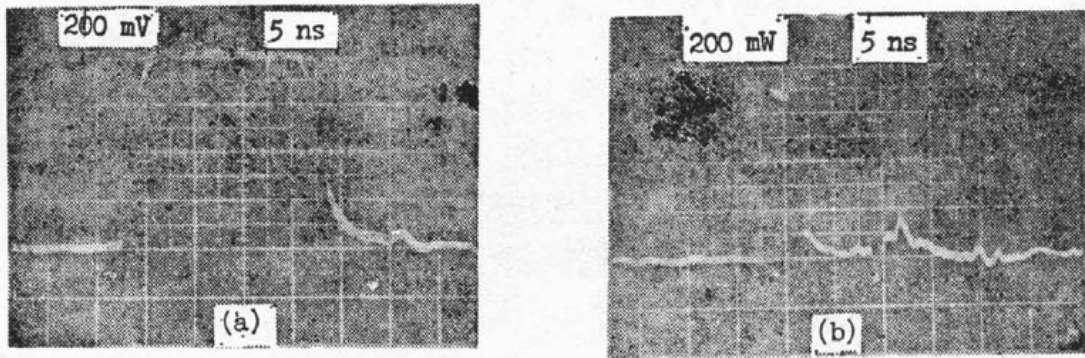


Fig. 6 The high voltage pulse

- (a)  $38\text{ ns}$  input voltage pulse ( $5\text{ ns/div}$ );  
 (b)  $6\text{ ns}$  output voltage pulse ( $5\text{ ns/div}$ ).

归纳上述实验结果:

(1) 一台脉冲整形器, 把微带型硅开关、微带线段和普克尔盒三者以  $50\ \Omega$  传输一体化。整形器综合响应时间  $< 400\text{ ps}$ 。

(2) 微带硅开关, 间隙为  $2.5\text{ mm}$ ; 承受脉冲式偏压  $6\text{ kV} \sim 10\text{ kV}$ , 暗电流为  $200\text{ mA} \sim 500\text{ mA}$ , 受脉冲偏压宽度的限制; “开通”电阻  $\sim 9.7\ \Omega$ 。

(3) 照射硅光导开关的短光脉冲为  $1.06\ \mu\text{m}$ , 光能  $200\ \mu\text{J}$ , 脉宽  $80\text{ ps}$ 。

(4) 驱动硅光导开关的偏压源与照射硅开关的短脉冲光同步, 幅度  $6\text{ kV} \sim 10\text{ kV}$ , 脉宽  $1\ \mu\text{s} \sim 10\text{ ns}$ 。

(5) 长短光脉冲在本实验测试精度极限范围内, 二者同步的抖动  $< 100\text{ ps}$ 。

最后, 实验还证实, 整形器稳定可靠运转、获得较好的各项参数, 其因素有:

(1) 激励光导开关的短脉冲首先应该稳定和可靠, 信噪比  $> 10^3$ 。

(2) 驱动光导开关的偏压源必须脉冲式, 脉宽尽可能地短,  $50\ \Omega$  输出。

(3) 光导开关的“开通”电阻应尽可能地小, 它主要依赖于微带开关的制作工艺及照射光能。

(4) 调 Q 长脉冲激光器应避免脉冲包络的不光滑性, 它直接影响被整形后输出的脉冲包络。

(5) 欲获得快速的转换响应时间, 普克尔盒电光开关的电容应尽可能地小。

满足以上条件, 整个装置运转就能更加稳定可靠, 各项参数的获得能进一步提高。

在实验测量过程中, 得到施阿英、逯其荣和许发明同志的帮助, 谨此致谢。



## 参 考 文 献

- [1] R. B. Wilcox; *Laser and Particle Beams*, 1986, 4, Part 1 (Feb), 141.  
[2] G. Mourou, W. Knox; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, 35, No. 7 (1 Oct), 492.  
[3] Jackson C. Koo, Glen M. Mcwright *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, 45, No. 10 (15 Nov), 1130.  
[4] Ohi H. Lee ed.; *Picosecond Optoelectronic Devices* (Académie Orlando, 1984), 207~208.  
[5] V. K. Mathar, G. S. Shang *et al.*; *Rev. Scient. Instrum.*, 1981, 52, No. 4 (Apr), 616.  
[6] 杨 义, 范滇元; *中国激光*, 1986, 13, No. 1 (Jan), 49.

**Pulse shaping in power laser system**

ZHI TINGTING, GU GUANGQING, CHEN LANRONG AND YONG YI

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

WU KEGIN AND CHEN SHELING

(*Physica Department, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800*)

(Received 28 March 1991; revised 27 May 1991)

**Abstract**

Control of temporal shape from a Q-switched Nd:YAG laser has been achieved by an optical pulse shaper. A 1 ns main optical pulse, with less than 400 ps rise and fall time has been generated. The jitter time between the main pulse and the diagnosis pulse is less than 100 ps, close to the transmission-limited value of measure.

**Key words:** shaped pulses; high power laser system.