

# 电光开关削波和激光放大过程中的 脉冲变窄

孟绍贤 谷忠民 莽燕萍 唐贤忠 林尊琪

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 用条纹相机测量比较了雪崩晶体管和弧光放电充气管电光开关所给出的削波波形。同样测量了激光多级放大后的波形,表明在激光放大过程中脉宽有 2~ 3 倍的压缩。

**关键词** 雪崩晶体管,弧光放电充气管,条纹相机

## 1 引 言

在高功率激光发展过程中,为了减少自聚焦引起的材料破坏,增加光束传播的空间填充因子,做了大量研究工作,先后采用软边光阑和锯齿光阑进行激光脉冲的空间整形;采用空间滤波器消除高频空间衍射,从而获得具有超高斯平顶空间分布的光束<sup>[1]</sup>。

在激光脉冲宽度的研究中,开展了宽脉冲的削波、锁膜脉冲选出单一脉冲、超短光脉冲的展宽、啁啾放大及脉宽再压缩以及短脉冲堆积成宽脉冲的研究。近来,也进行了纳秒光脉冲在放大过程中波形变化的理论计算,表明纳秒光脉冲在放大过程中前沿变陡,脉冲宽度变窄<sup>[2]</sup>。

本文将讨论如何采用全部国产 KD\*P 晶体和雪崩晶体管高压脉冲发生器做成的电光开关,从宽的激光脉冲中削出最短的激光脉冲波形;并实验测量了纳秒激光脉冲在放大过程中前沿变陡,脉冲宽度变窄。从而为高功率激光系统设计提供有参考价值的数据。

## 2 最短脉冲的削出

为了从一个宽的激光脉冲削出最短的脉冲,它要求采用削波的电光开关有最快的响应。电光开关的响应主要取决于高压脉冲发生器的响应和普克尔盒具有的电容以及两者的连接。

在高压脉冲发生器方面,我们最早采用激光触发火花隙开关<sup>[3]</sup>,使方波加在普克尔盒的 KDP 晶体上,这种开关上升时间小于 1 ns,但它的触发起始延迟受光强影响有较大的抖动,引起削波位置的变化,并且由于它是高压大电流快速放电,因此往往引入大的干扰,影响测试仪器的正常运行。

后采用弧光放电充气管作为开关元件,它上升时间为 1.5 ns,寿命~ 10<sup>5</sup> 次,但弧光放电充气管延迟时间长,约为 30 ns,且需进口。

——近来我们研制了雪崩晶体管脉冲发生器,经过一段时间运行,表明其性能与弧光放电充气管

管脉冲发生器相似,但价格便宜,使用方便。其上升时间小于  $1 \text{ ns}$ 。

普克尔盒是瞬间加压的电光晶体。通常采用 KDP 和  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体, KDP 晶体的优点是相对介电常数小,  $\epsilon = 20$ , 因此容易做成上升时间快的开关,但在  $1.06 \mu\text{m}$  处半波电压高,  $V_{\pi} = 16.4 \text{ kV}$ 。而  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体相对介电常数大 ( $\epsilon = 50$ ), 因此开关上升时间较慢,但在  $1.06 \mu\text{m}$  时,半波电压低,  $V_{\pi} = 6.5 \text{ kV}$ 。综合考虑,在激光束尺寸小时,选用  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体合适。

普克尔盒最通常采用圆环电极,它把铜的圆环压在晶体的通光面或装在晶体侧面,然后放在具有通光窗口的密封盒子中,为了防潮和增加透过率,把晶体浸在防潮且折射率匹配的液体中,窗口外表面涂增透膜。

随着化学涂膜技术的进步,可以对 KDP 型晶体直接涂防潮膜和增透膜,则普克尔盒透过率将进一步增加。

普克尔盒响应时间由开关脉冲的有效阻抗  $Z_{\text{eff}}$  和晶体的电容  $C_{\text{kp}}$  决定<sup>[4]</sup>,  $\tau = Z_{\text{eff}} \cdot C_{\text{kp}}$ , 显然普克尔盒电容愈小愈好,而有效电阻也愈小愈好。高压脉冲发生器到普克尔盒的接线愈短愈好,以减少影响时间常数的寄生电压、电容及电阻影响。

### 3 双普克尔盒电光开关削波

电光开关是整个激光系统的关键部件,它由两台正交偏振器与  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体构成双普克尔盒开关,前者主要起削波作用,后者主要起光隔离作用。它的结构如图 1。

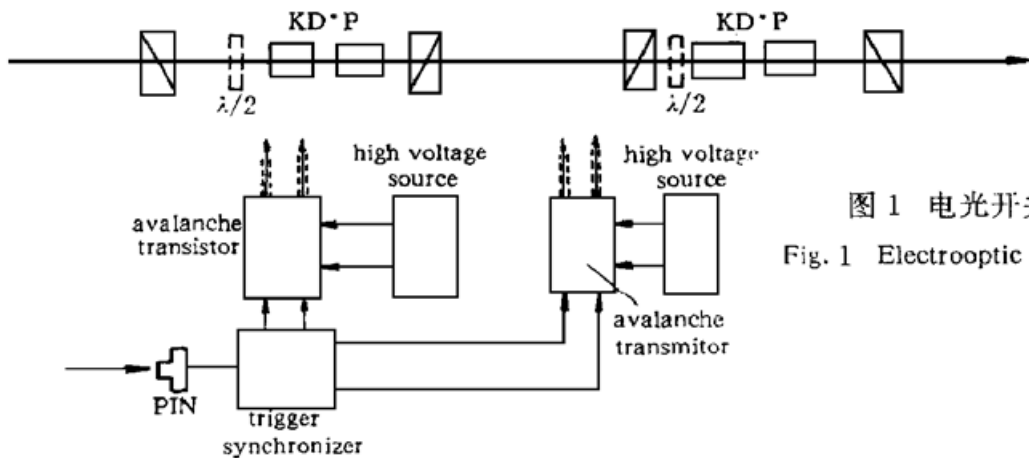


图 1 电光开关系统

Fig. 1 Electrooptic gates system

采用雪崩晶体管高压脉冲电路。它包括振荡器输出激光触发的 PIN 二极管、同步触发电路、雪崩晶体管高压脉冲发生器和高精度直流高压稳压源。

PIN 二极管输出信号触发同步电路,由同步电路给出四个脉冲,两个触发削波开关的两串雪崩晶体管堆,两个触发隔离开关的两串雪崩晶体管堆。由于普克尔盒为两个  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体串联,所加电压为  $\lambda/4$  电压,即满足开关半波电压的要求。开始时  $\text{KD}^* \text{P}$  上两端电压相等,均为  $\lambda/4$  电压,光束偏振面不旋转。当第一串雪崩晶体管导通时,  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体一端电压降到零,另一端为  $\lambda/4$  波电压,此时光通过两个  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体,光偏振面旋转  $90^\circ$ ,则由正交偏振镜输出到后面光路,当第二串雪崩晶体管导通时,  $\text{KD}^* \text{P}$  晶体两端电压降到零,此时电光开关处于关闭状态,光被偏出,因此电光开关输出的光脉冲宽度,由两串雪崩晶体管堆开关导通时间差决定。它可由调整同步电路到雪崩晶体管堆开关联接电缆的长度差来改变,稍微调整所加电压会稍许改变开关的上升时间和下降时间。削波可由调整到 PIN 的光触发信号强度来改变。隔离开关与削波开关原理相同,应尽量保持两个开关的同步,以提高信噪比。

用示波器测得的削波位置波形如图 2, 削出的单一脉冲波形如图 3。由于示波器响应时间较慢, 不易估计脉冲的真实形状和宽度, 为此采用条纹相机进行脉冲波形测量。其测试光路如图 4。从图 1 出来的  $1.064 \mu\text{m}$  激光经过  $M_1$  镜全反射到  $M_2$  镜,  $M_2$  镜的漏光触发条纹相机前的 PIN 二极管, 而主要光经过光路延迟到  $M_3$  镜全反到条纹相机前的倍频晶体, 倍频光经过绿色滤光片照射条纹相机狭缝。从触发到绿光进入狭缝光路延迟为  $14 \text{ m}$ 。条纹相机分辨率为  $10 \text{ ps}$ , 采用  $10 \text{ ns}$  扫描档, 测得的绿光激光波形如图 5。测得绿光脉冲半高度点宽度为  $2.0 \text{ ns}$ , 而脉冲上升时间为  $0.65 \text{ ns}$ 。这个上升时间与普克尔盒响应时间  $\tau = Z_{\text{eff}} C_{\text{kp}}$  相一致。在实验中  $Z_{\text{eff}} = 50 \Omega$ ,  $C_{\text{kp}} = 14 \text{ pF}$ 。从而证明电光开关响应主要取决于晶体电容和连接电缆的波阻抗。

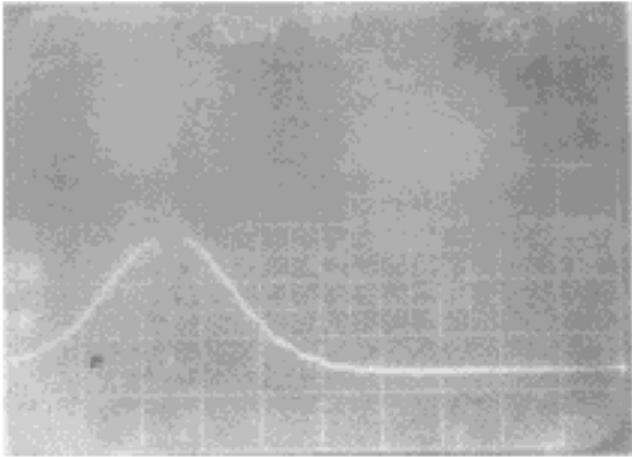


图 2 脉冲削波位置

Fig. 2 Position of pulse chopped

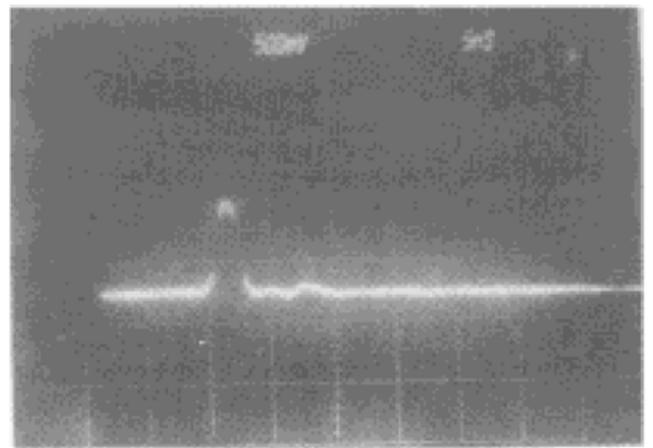


图 3 削出的单一脉冲

Fig. 3 Single pulse is chopped

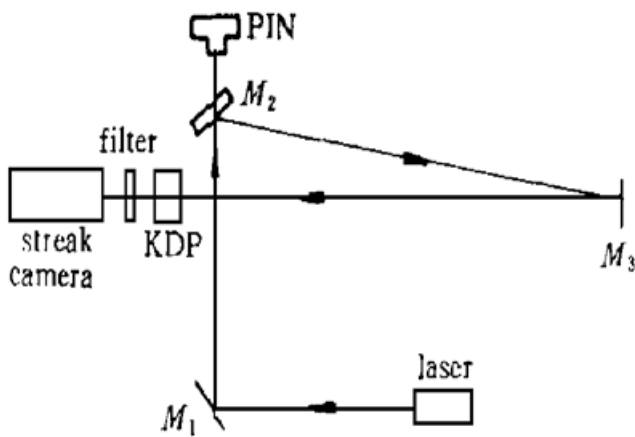


图 4 条纹相机测试光路

Fig. 4 Schematic of the experimental arrangement

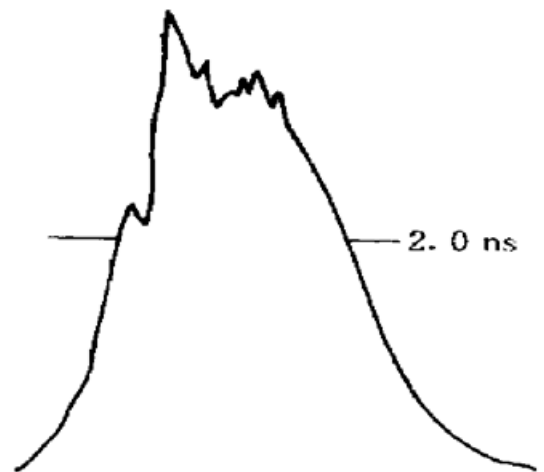


图 5 削波脉冲波形

Fig. 5 Chopped pulse shape

## 4 脉冲放大过程中的变窄

从以上讨论不难看到, 削波脉冲的变窄主要取决于晶体电容, 用 KDP 晶体做普克尔盒, 电容可达  $5 \text{ pF}$ , 但它的半波电压太高。而采用波阻抗低的电缆, 如  $10 \Omega$  电缆, 则电缆需特制并安装困难。所以利用削波开关只能获得  $2 \sim 3 \text{ ns}$  的激光脉冲。

然而考虑到光脉冲在放大过程中的变窄效应, 获得  $1 \sim 2 \text{ ns}$  激光脉冲就不困难了, 下面就对此加以讨论。

在考虑损耗的情况下, 激光放大方程为<sup>[5]</sup>

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + c \frac{\partial}{\partial x} \right] \phi = \bar{\alpha} \phi \Delta - r \phi \tag{1}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t} = - \sigma_c \phi \Delta \tag{2}$$

式中  $\phi$  为光子数密度,  $\Delta$  为反转粒子数密度,  $r$  为光子数在传输过程中的损耗,  $\sigma$  为受激辐射截面。

文献[2]对上述方程进行解析求解和 PDEF 编码计算, 表明脉冲在放大过程中前沿变陡, 脉宽变窄。我们在激光 12# 上用两台条纹相机同时测量也证明了这一点。

两台条纹相机分别在  $\phi 70$  mm 放大器和  $\phi 200$  mm 放大器后进行同时测量。

在  $\phi 70$  mm 激光放大器后测得绿光脉冲结果见表 1。

表 1 绿光脉冲宽度测量 (单位: ns)

Table 1 Measurement of green light pulse width (units: ns)

shot	1	2	3	4	5	6
pulse width/ns	1.45	1.53	1.34	1.36	1.13	1.20
rise time/ns	0.88	0.92	0.76	0.65	0.75	0.97

此时, 由弧光放电充气管削出的脉冲已经过多级放大, 因此前沿已经变陡, 脉冲宽度已经变窄。

图 6 给出了在  $\phi 70$  mm(左)和  $\phi 200$  mm(右)激光输出处条纹相机同时测得的激光波形。此时脉冲宽度和上升时间均换算为 1.054  $\mu\text{m}$  波长的值, 并标出此时的脉冲前沿和激光输出能量。从图中看出经过放大脉冲前沿变陡, 脉冲宽度变窄 2~3 倍, 这与理论结果相符合。

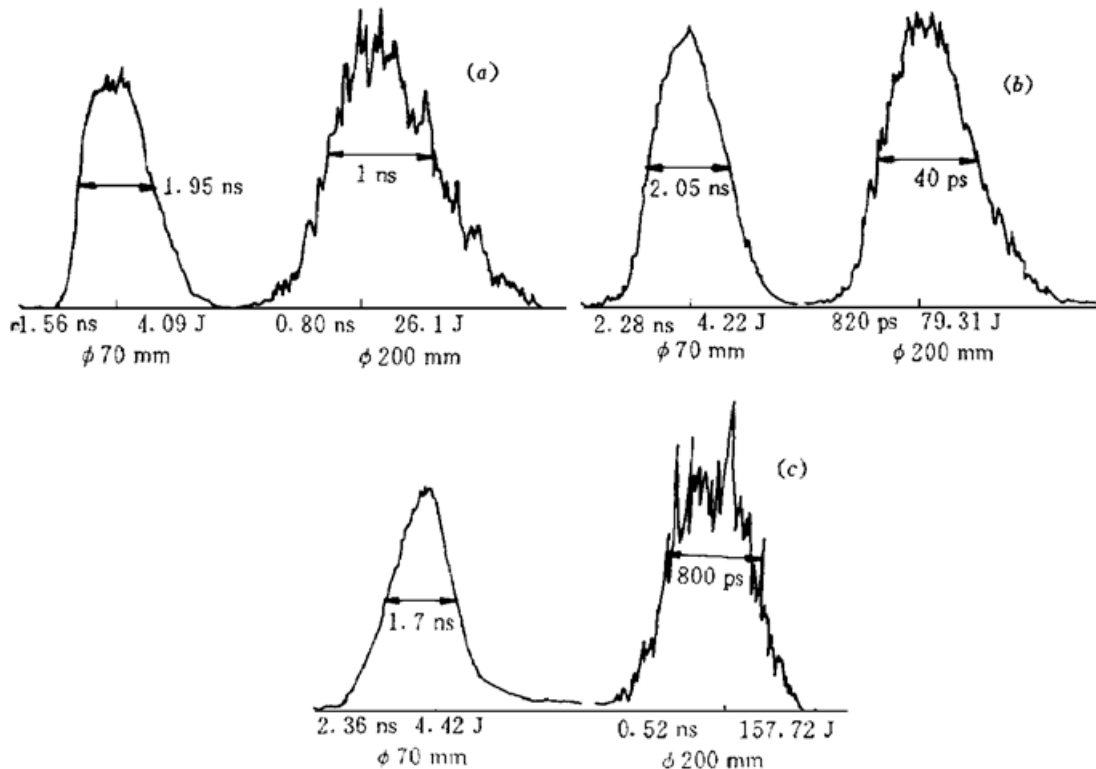


图 6 脉冲在放大过程中的压缩

Fig. 6 Pulse shorten in the laser amplification process

## 5 几点结论

从以上实验可得以下结论:

(1) 雪崩晶体管和弧光放电充气管削出脉冲效果,基本相同,上升时间大致相等。削波上升时间均小于 1 ns,脉冲宽度为 2~ 3 ns;

(2) 为减少上升时间,削出更短脉冲,唯一办法就是减少晶体做的普克尔盒电容,和减少联结电缆波阻抗;

(3) 激光在放大过程中,脉冲前沿将变陡,脉冲宽度明显变窄;

(4) 在激光器设计中,必须考虑脉冲变窄效应,并以最后输出脉宽作为真正的脉冲宽度;

(5) 实验证明,脉冲在放大过程中可以得到 2~ 3 倍压缩,因此获得 1 ns 的最终输出脉冲是没有问题的。

**致谢** 感谢范滇元院士、刘凤翹高工在 12<sup>#</sup> 实验中给予的支持,感谢逯其荣、竺庆春帮助条纹相机测量。管富义、王笑琴、高 奇、薛志玲参与了装置调整工作。

### 参 考 文 献

- 1 B. Luther-Davies, E. G. Gamalii, Y. Wang *et al.*. Matter in ultrastrong laser fields. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1992, **22**(4): 289~ 325
- 2 Liu Renhong, Tan Weihai. An exact solution for laser amplification. *Acta Physics Sinica* (物理学报), 1995, **44**(7): 1029~ 1034 (in Chinese)
- 3 Meng Shaoxian, Pu Chaoshun, Yang Yi *et al.*. Experimental research on laser triggered spark gaps. *Laser Journal* (激光), 1981, **18**(4): 46~ 47 (in Chinese)
- 4 M. A. Rhodes, L. J. Atherton, B. W. Woods *et al.*. UCRL-LD-105821-95-1. Laser Program Annual Report, 1995, 29~ 41
- 5 Writing Group of Introduction of Solid State Laser. Introduction of Solid State Laser. Shanghai: Shanghai People's Press, 1994. 403 (in Chinese)

## Chopped Waveshape of Electrooptic Gates and Shorten Pulses in Laser Amplification Process

Meng Shaoxian Gu Zhongming Mang Yanping Tang Xianzhong Lin Zhunqi  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** The chopped waveshapes of an avalanche transistor and krytron electrooptics gates are compared by streak camera measurement. Also, the waveshape of a laser multicascade amplifier is measured. A 2~ 3 times compression of pulse width in the laser amplification process is indicted.

**Key words** avalanche transisstor, krytron, streak camera