

利用雪崩管驱动电光偏转器实现 稳定纳秒激光脉冲输出

TN24 B

曾文章¹⁾ 张生佳²⁾ 韦辉²⁾ 马忠林²⁾ 许世忠²⁾ 陈绍和²⁾

(1) 泉州师范学院物理系、功能材料研究所,福建泉州 362000
(2) 中国科学院上海光机所,上海 201800

提 要 利用雪崩管堆驱动 LiNbO₃ 电光偏转器对激光脉冲进行快速偏转,实现幅度稳定的纳秒整形激光脉冲;激光脉冲振幅不稳定性从振荡器输出的单纵模调 Q 激光脉冲的 10%(RMS)降低到 4%(RMS),大大改进了纳秒量级整形激光脉冲幅度稳定性。

关键词 电光偏转器,雪崩管,稳幅,激光脉冲

1 引言

在实验室内用高功率激光实现惯性约束核聚变(ICF)对激光驱动器提出很高的要求^[1]。作为高功率激光束的前端系统,要为下级的预放级、主放级和靶场提供一个稳定可靠的种子光源,对其稳定性提出了很高的要求,这也是前端系统重要任务之一。用于 ICF 前端系统的 LD 抽运 Nd:YLF 单纵模调 Q 振荡器,由于受到 LD 电源输出功率稳定性、温控仪控温精度、LD 发光稳定性以及激光腔内光学元件性能等因素的制约,其输出激光脉冲幅度起伏往往不能满足要求越来越高的 ICF 前端系统技术指标的需要,美国 NIF(国家点火装置)装置的研究人员认为这是一个很难克服的技术难题。在我们研制工作中,采用 KN₂ 冷阴极闸流管做成的电脉冲发生器驱动电光偏转器对激光脉冲快速偏转,获得幅度稳定在纳秒量级的整形激光脉冲。但 KN₂ 冷阴极闸流管价格昂贵,本文

报道采用雪崩晶体管、MOS 管做成高压电脉冲发生器驱动 LiNbO₃ 电光偏转器的稳幅器,既能输出纳秒整形激光脉冲,又能提高整形脉冲幅度的稳定性。振荡器输出的单纵模调 Q 脉冲幅度起伏 10%,采用新的技术可以提高到 4%(RMS),稳幅效果很好。

2 工作原理

我们利用雪崩管堆电脉冲发生器驱动电光偏转器,对激光脉冲既起到稳幅作用,又产生了纳秒整形激光脉冲,其实验原理如图 1 所示。

从振荡器输出的激光脉冲经过分光镜,一部分光通过光电探测器

器(PIN)接收,产生的电信号触发雪崩管堆高压电脉冲发生器,用高压电脉冲前沿驱动电光偏转器。另一部分主光束经过小孔光阑后,入射到置于会聚透镜前焦面的电光偏转器。光束在通过受同步高压电脉冲驱动的电光偏转器时发生偏转,在会聚透镜的后焦面上形成扫描光线。在扫描线位置上放置一可调狭缝,截取激光脉冲输出。

该系统的关键器件是电光偏转器和驱动电光偏转器的高压电脉冲发生器。电光偏转器具有特殊电极结构^[2,3],在同步高压电脉冲驱动下形成电场梯度,在晶体内产生折射率梯度,使通过晶体的光束发

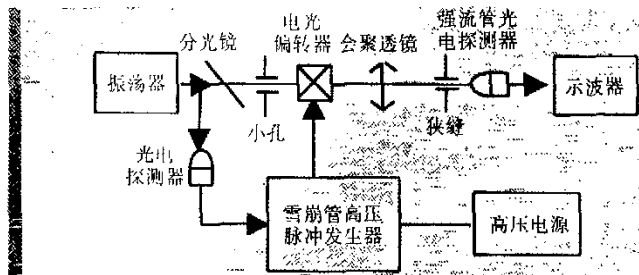


图 1 雪崩管器件稳幅原理框图

生偏转。其最大偏转角为^[4]

$$\Theta_m = -\frac{1}{2} C_s n_c^2 \gamma_{33} V \frac{L}{D^2} \quad (1)$$

式中 C_s 是由偏转器的结构参数决定的结构因子, n_c 为晶体 e 光折射率, γ_{33} 为晶体电光系数, V 为偏转器上所加的电压, L 为偏转器的有效长度, D 为偏转器的通光孔径。在高压电脉冲驱动电光偏转器的过程中, 光脉冲不同时刻的分量被偏转到不同的角度上, 在会聚透镜后焦面上形成一条扫描光线。设偏转器的扫描速度为 $U(t)$, 扫描线长度为 L_m , 则^[6]

$$U(t) = F \frac{d\Theta_m}{dt} = -\frac{1}{2} C_s n_c^2 \gamma_{33} \frac{L}{D^2} F \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

$$L_m = U(t)T = -\frac{1}{2} C_s n_c^2 \gamma_{33} \frac{L}{D^2} FT \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

其中 T 为偏转器的扫描时间。由(2)、(3)式可知, 扫描线长度与驱动偏转器的电脉冲前沿 $\frac{dV}{dt}$ 成正比。因此, 电脉冲发生器的固有延迟越短, 触发灵敏度越高, 所产生的电脉冲前沿越陡, 扫描线越长。为此我们选用了 2n5551 型雪崩管堆作为高压同步信号源, 它具有触发灵敏度很高、固有延迟很短的性质。比如当触发信号为 999mV 时不触发, 仅当触发信号达到 1000mV 时才产生触发, 而且它的固有延迟时间仅为 $\sim 3ns$ 。利用雪崩管触发灵敏度很高、固有延迟短的功能, 在同步激光脉冲触发下, 产生前沿陡峭的电脉冲, 由它驱动电光偏转器, 便可以获得较长的扫描线。通过调节扫描线上的狭缝宽度, 以控制光脉冲的持续时间。从狭缝截取的激光脉冲只是振荡器输出光脉冲的一部分, 这部分光脉冲的幅度起伏比从振荡器输出的

光脉冲小很多, 同时脉宽又是纳秒量级。除此之外, 我们还用单只这种雪崩管触发 15n100 型 MOS 管, 再由它驱动电光偏转器, 这时高压同步电信号的固有延时增至 $\sim 12ns$ 。两者对激光脉冲都具有良好稳幅功能。在如下实验中我们观察到明显稳幅效果。

3 实验结果与分析

在图 1 所示的实验装置中, 振荡器是 LD 抽运 Nd:YLF 主动调 Q 单纵模激光器, 输出波长为

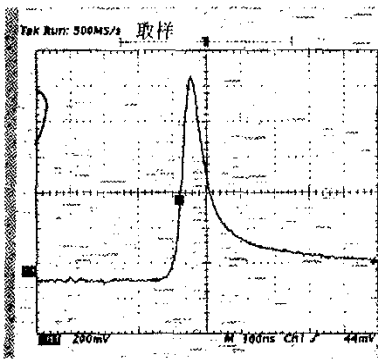


图 2 振荡器输出的激光脉冲波形

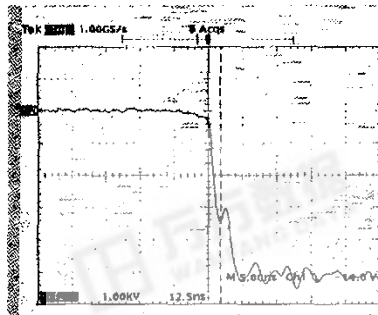


图 3 冷阴极管电压脉冲前沿波形

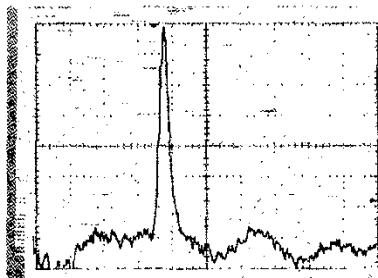


图 4 用冷阴极管驱动偏转器后的输出激光脉冲波形

1.053 μm 、脉宽几十纳秒、幅度抖动 RMS $\sim 10\%$ (测 120 次峰值计算, 下同)的单纵模调 Q 激光脉冲, 波形如图 2 所示。电光偏转器是用通光孔径 4mm、有效长度 30mm、偏转能力为 $1.07 \times 10^{-6} rad/V$ 、反应灵敏、响应快速的 LiNbO₃ 晶体做成的。分别用冷阴极管、雪崩管及 MOS 管高压电脉冲发生器产生的高压电脉冲驱动偏转器。狭缝宽度调至 1mm。实验结果是:

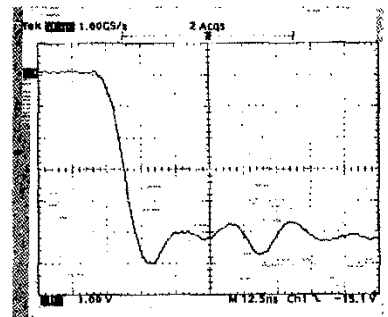


图 5 MOS 管电压脉冲前沿波形

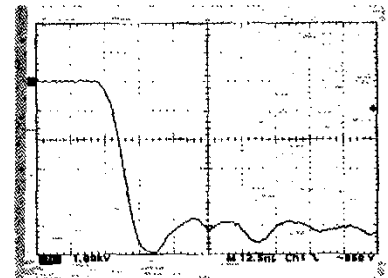


图 6 雪崩管电压脉冲前沿波形

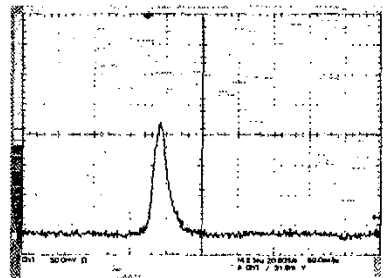


图 7 MOS 管驱动偏转器后输出的激光脉冲波形

用冷阴极管高压发生器产生峰值 5kV、前沿 $\sim 10.75ns$ 的电脉冲驱动偏转器, 其电压脉冲波形如图 3 所示。光脉冲经偏转器偏转产生

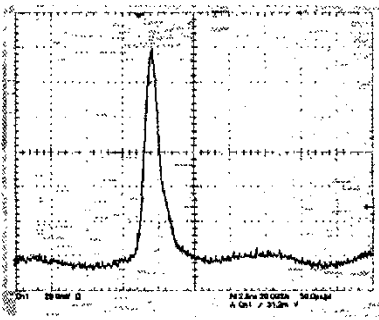


图8 雪崩管驱动偏转器后输出的激光脉冲波形

的扫描光线长~7.5mm,狭缝截取的光脉冲宽度~780ps,激光波形如图4所示,幅度起伏RMS~3.25%。用MOS管、雪崩管高压发生器均产生峰值5kV、前沿~11.62ns和~10.85ns的电脉冲驱动偏转器,电压波形如图5和图6所示,光脉冲

通过偏转器偏转产生的扫描光线长~6.5mm和~7.0mm(雪崩管扫得更均匀些);狭缝截取的光脉冲宽度~1.048ns、~1.079ns,波形如图7和图8所示,幅度起伏RMS分别~4.00%和~3.84%。

同时,实验发现用雪崩管高压电脉冲发生器产生峰值5kV电脉冲前沿驱动偏转器时,对光脉冲前沿不同位置的偏转,得到的稳幅效果不同。若振荡器输出单纵模调Q激光脉冲幅度起伏RMS~11.40%,当取在靠近光脉冲峰值附近偏转时,稳幅后输出光脉冲幅度起伏RMS~11.00%;取在光脉冲前沿接近中点处偏转时,稳幅后输出光脉冲幅度起伏RMS~5.46%;而取在光脉冲前沿靠近前端附近偏转时,

稳幅后输出光脉冲幅度起伏RMS~3.89%。

4 结论

用雪崩晶体管、MOS管等做成的电脉冲发生器驱动电光偏转器进行快速偏转,实现激光脉冲稳幅。用雪崩晶体管、MOS管代替KN₂冷阴极闸流管驱动偏转器,也能够获得优良的稳幅效果。用雪崩管堆作电脉冲发生器,驱动电光偏转器,获得了幅度稳定的纳秒整形激光脉冲,它相对振荡器输出的单纵模调Q激光脉冲幅度起伏的RMS值从10%降到4%,大大改进了纳秒量级整形激光脉冲幅度稳定性。

参 考 文 献

- 1 Lawson J K, Speck D R, Bibeau C *et al.*. Temporal shaping of third-harmonic pulses on Nova laser system. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(24):5061~5068
- 2 许发明,范滇元,陈绍和等. LiNbO₃ 电光偏转器的研究. *光学学报*, 1996, **16**(3):369~372
- 3 范滇元,陈绍和等. 电光偏转器的矩阵表示和应用. *中国激光*, 1996, **23**(10):906~910
- 4 许发明,陈绍和,陈兰荣等. 复杂激光脉冲波形的整形. *光学学报*, 1996, **16**(7):943~947
- 5 曾文章,陈绍和,张生佳等. 利用时空变换获得超短脉冲. *激光与光电子学进展*, 2002, **39**(7):36~38

Gaining a Stable Laser Pulse Output by Avalanche Transistor Pile Driverring LiNbO₃ Electro-Optics Deflector

ZENG Wenzhang¹⁾ ZHANG Shengjia²⁾ WEI Hui²⁾ MA Zhonglin²⁾ XU Shizhong²⁾ CHEN Shaoh²⁾

(¹ Department of physics function material institute, Quanzhou teacher's college, Fujian Quanzhou 362000)
(² Shanghai Institute of Optical and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Laser pulse is quickly deflected by LiNbO₃ electro-optics deflector which is driven by avalanche transistor pile, thus a stable laser pulse output (the pulse width is ns in scale) is gained, the instability of which is decreased from 10%(RMS) to 4%(RMS) compared with the single-longitudinal-mode Q-switched laser pulse output of the oscillator. It indicates that the amplitude stability of shaping laser pulse is improved greatly.

Key words electro-optics deflector, avalanche transistor, amplitude stabling, laser pulse