

用快速电光偏转器对激光脉冲削波*

许发明 陈绍和 陈兰荣 逯其荣 许世忠 范滇元 邓锡铭

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 介绍了用快速电光偏转器实现激光脉冲削波的原理, 用该方法可以轻易获得很大范围以内所需任意宽度的激光脉冲。理论上讨论了激光焦斑、调制小孔大小、扫描速度和激光脉冲宽度的关系; 并在实验上用 $\phi. 36$ 的小孔从 20 ns 的调 Q 激光脉冲削波, 获得了前沿 140 ps, 脉冲宽度为 280 ps 的窄脉冲。

关键词 电光偏转器, 削波, 脉冲宽度

1 引言

在实验室内用高功率激光实现惯性约束核聚变不仅需要驱动器提供兆焦耳量级的激光能量, 而且要求激光脉冲具有合适的波长和时空特性, 空间上要求均匀照明, 时间上则要求脉冲宽度和形状可以控制^[1]。美国里弗莫尔实验室的 NOVA 装置以光电导开关和非均匀成形电缆传输技术相结合, 产生不同宽度和形状的高压电脉冲去驱动块状普克尔盒, 能提供 300 ps 以上任意宽度的激光脉冲^[1], 其升级装置 Beamlet 采用 LiNbO₃ 集成光学波导调制器, 降低了驱动电压, 增加了可靠性, 并且把下限推到 250 ps。国内的“神光”装置由于驱动电脉冲宽度和普克尔盒响应极限的限制, 一般最窄也只能到 1 ns 左右。用电光偏转器对激光脉冲削波由于只利用了驱动电脉冲的前沿, 因此对电脉冲的要求大大降低, 而且可以提高信噪比, 不仅如此, 改变削波的脉冲宽度也极为容易, 只需改变调制小孔的大小或所加电压变化速率即可。

2 原理和实验装置

LiNbO₃ 电光偏转器是通过特殊的电极结构在晶体内形成电场梯度, 利用一阶线性电光效应, 在晶体内产生折射率梯度, 使通过晶体的光束发生偏转, 偏转光斑数 N 和晶体上所加电压 V 成正比^[2]:

$$N = - \frac{C_s}{4.88} \frac{n_e^3 r_{33}}{\lambda} V \frac{L}{D} \quad (1)$$

其中 C_s 为结构因子, n_e 为晶体 e 光折射率, r_{33} 为电光系数, λ 为光脉冲的波长, V 为偏转器上所加的电压, L 为偏转器的有效长度, D 为通光孔径。而 N 的定义为:

* “神光”升级课题。

$$N = \frac{\Theta_{\text{def}}}{\Theta_{\text{dif}}} \quad (2)$$

Θ_{def} 为偏转角度, Θ_{dif} 为光束束宽为偏转器通光孔径的平面波的衍射全角, 则

$$\Theta_{\text{def}} = - \frac{C_s}{2} * n_e^3 * r_{33} * V \frac{L}{D^2} \quad (3)$$

对激光脉冲削波就是利用偏转角度和电压成正比这个特性。图1为用 LiNbO₃ 电光偏转器对激光脉冲削波的原理示意图, 从振荡器 OSC 输出调 Q 单纵模激光脉冲, 脉冲宽度为 20 ns, 由分光镜 SM 分一部分光通过 PIN 管触发冷阴极管, 产生的快速 8 kV 高压电脉冲去驱动一对电光偏转器, 主光路的激光脉冲则经延迟后和电脉冲同步到达第一个偏转器 D₁, 偏转器的通光孔径为 4 mm, 有效长度为 30 mm, 随着电压的增加, 光束发生偏转, 透镜 L₃ 和 L₄ 组成一个 4F 系统, 系统中透镜 L₁ ~ L₆ 的焦距均为 74 cm, D₁ 放置于 L₃ 的前焦点上, 被偏转光束在 L₃ 的后焦平面上聚焦扫描成一条线, 这样光强时序上变化变成了扫描线上分布, L₄ 和位于其后焦点上的第二个电光偏转器 D₂ 则把偏转扫开的光束复原, 把扫描线上的光强分布回复到时序上的光强变化, 如果在扫描线上放置一调制小孔 MP, 则可以实现激光脉冲削波, 改变小孔大小或扫描的速率就可以控制削波脉冲的前后沿快慢和宽度。

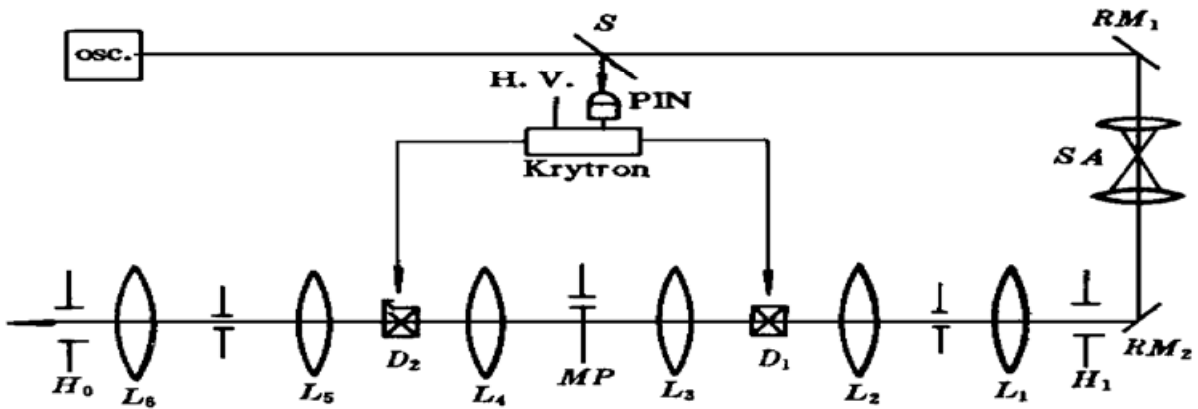


Fig. 1 The chopping system with LiNbO₃ electro-optic deflectors

OSC: oscillator; SM: beam splitter; RM₁, RM₂: reflect mirrors; SA: beam expander; H_i: input aperture; L₁ ~ L₆: lenses; D₁, D₂: deflectors; MP: chopping hole; H_o: output aperture

RM₁ 和 RM₂ 为 45° 全反镜, 可以调节光程, 起延时同步作用。SA 为扩束望远镜, 起改变高斯光束的参数的作用, 使光束的瑞利距离大于系统中透镜的焦距, 经输入光阑限束以后, 近似为有限束宽的平面波, 透镜 L₁ 和 L₂ 组成空间滤波器, 改善输入光束的质量。入射光孔 H_i 控制入射光束的大小, H_i 通过由 L₁ 和 L₂ 组成的空间滤波器成像于 D₁, 这个像一直被传递至输出光孔 H_o, 透镜 L₅ 和 L₆ 组成削波系统输出级空间滤波器, 改善系统输出的光束质量, 和 H_o 一起组成下一级放大系统的接口。

3 计算和实验结果

对于削波激光脉冲而言, 其前沿和脉冲宽度主要由 MP 平面上焦斑大小、调制小孔尺寸以及扫描速度决定, 设焦斑直径为 D_f, 调制小孔直径为 D_m, 扫描速度为 v(t)。

取光束的主极强为焦斑大小, 则

$$D_f = 2 * a * F * \frac{\lambda}{D_{in}} \tag{4}$$

a 为衍射系数, F 为透镜焦距, D_{in} 为输入光阑 H_i 的孔径。对于给定大小的硬边光阑, 不同参数的高斯光束其衍射系数不一样, 图 2 中曲线 1 表示相对于输入孔径不同束腰 w_s 的高斯光束通过光阑衍射系数变化情况, 随着束腰变大, 衍射系数迅速减小, 趋向于有限束宽的平面波的衍射系数值 1.22, 而激光脉冲的功率透过率却随之快速下降, 权衡之下, 用 SA 将束腰扩至输入孔径相当, 为了防止偏转器边缘散射引起系统信噪比下降, 输入光孔在偏转器 D_1 上的像应小于 D_1 的通光孔。

根据(3) 式, 焦斑在 MP 平面上的扫描速度为

$$v(t) = F * \frac{d\Theta_{lef}}{dt} = - \frac{C_s}{2} * n_c^3 * r_{33} * \frac{L}{D^2} * F * \frac{dV}{dt} \tag{5}$$

一般用电脉冲上升沿来驱动偏转器, 除了起始和最后部分, 电压变化是均匀的, 而且取扫描线中间部分作削波脉冲, 故认为焦斑的扫描速度是均匀的, 由于圆形调制孔的几何对称性, 其削波后脉冲的前后沿基本对称。

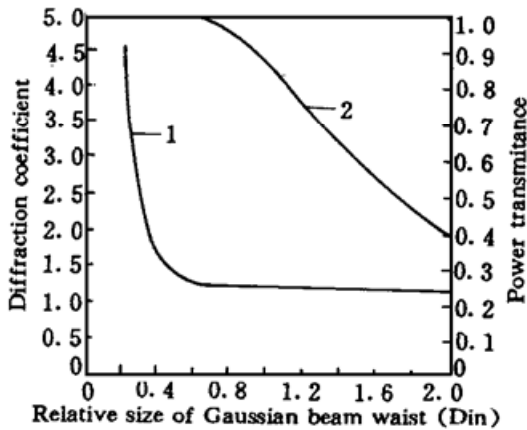


Fig. 2

Curve 1: diffraction coefficient versus size of Gaussian beam waist relative to the size of the input aperture; Curve 2: power transmittance versus size of Gaussian beam waist relative to the size of the input aperture

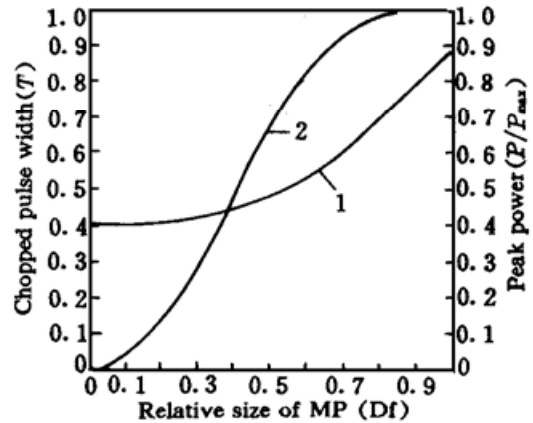


Fig. 3

Curve 1: pulse width versus size of MP; Curve 2: peak power versus size of MP

如果偏转器的扫描速度不变, 对于不同大小的削波小孔, 则系统输出不同宽度的脉冲。图 3 表示在理论上当系统 $D_m \leq D_f$ 时削波脉冲的宽度和峰值功率随不同调制小孔尺寸变化情况, 设偏转器扫描过一个焦斑所需的时间为 T , 当 $D_m = D_f$ 时, 脉冲宽度为 $0.9T$, 脉冲有最大峰值功率; 对于 $D_m \leq D_f$ 情况, D_m 变小, 脉冲宽度变短, 峰值功率减小, 当 $D_m \rightarrow 0$ 时, 脉冲宽度 $\rightarrow 0.4T$; 当 $D_m > D_f$ 时, 削波脉冲的前后沿和 $D_m = D_f$ 时相近, 基本不变, 为平顶状脉冲, 宽度则为当 $D_m = D_f$ 时的宽度加上焦斑在小孔内自由移动的时间 δt , 即 $0.9T + \delta t$ 。

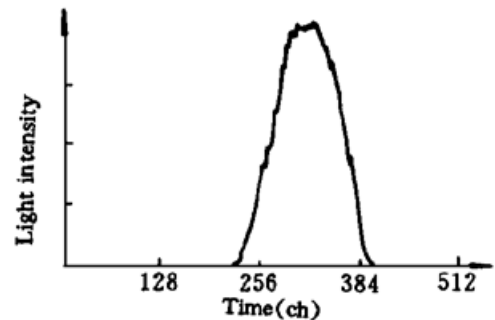


Fig. 4 Chopped pulse taken from a C979 Streak Camera

在我们的系统中,采用通光孔径4 mm,有效长度30 mm 的 LiNbO₃电光偏转器,实际光束的直径限于3.8 mm,用焦距为74 cm 的透镜组成 4F 系统,波长为 1.06 μm 的光在 MP 平面上的焦斑直径 D_f 为 0.5 mm,经测试扫描速度为1.1 mm/ns,即 $T = 0.4545$ ns,用 $D_m = 0.36$ mm 的调制小孔削波,经倍频后由 C979条纹相机测量,得到如图4所示的削波脉冲,相机的量程档为2 ns,即2 ps/ch,前沿为50 ch,即100 ps,脉冲半高宽为99 ch,即198 ps,按高斯脉冲波形计算,基波光脉冲宽度为倍频光的 $\sqrt{2}$ 倍,即280 ps,理论上 $D_m/D_f = 0.72$,而 $T = 0.4545$ ns,依据图3曲线1削波脉冲宽度和削波小孔大小的关系,计算也为280ps,和实验结果完全一致。

参 考 文 献

- 1 J. K. Lawson, D. R. Speck, C. Bibeau *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

Pulse Chopping by Fast-response Electro-optic Deflectors

Xu Faming Chen Shaohe Chen Lanrong Lu Qirong

Xu Shizhong Fan Dianyuan Deng Ximing

(Shanghai Institute of Optic and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract This paper introduces the principles of pulse chopping with fast-response electro-optic deflectors. Laser pulses with a wide range of desirable pulse-width can be obtained easily using this method. Dependence of pulse-width upon light beam focus spot, size of chopping hole and scan velocity is discussed theoretically. Chopped from a Q-switch single longitudinal mode pulse with 20 ns pulse-width by using a ϕ .36 chopping hole, a short light pulse with a pulse-width 280 ps and rise-edge 140 ps is realized experimentally.

Key words electro-optic deflector, chopping, pulse-width