

文章编号: 0258-7025(2004)02-0149-04

时空变换脉冲整形系统中实现光束复原的一种新方法

韦辉¹, 许世忠¹, 张生佳¹, 马忠林¹, 沈磊¹, 曾文章², 陈绍和¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; ² 泉州师范学院物理系, 福建 泉州 362000)

摘要 提出了时空变换脉冲整形系统中光束复原的一种新方法: 用单模光纤代替通常时空变换法中的第二个电光偏转器。当改变调制狭缝的宽度时, 获得了脉宽在 740 ps ~ 4.5 ns 连续变化的整形脉冲, 而且输出光束质量好。此方法降低了对关键元件电光偏转器的要求, 提高了可靠性, 简化了系统。

关键词 激光技术; 脉冲整形; 时空变换; 单模光纤; 光束复原; 电光偏转器

中图分类号 TL 632+.1 文献标识码 A

A Novel Method for Compensating Deflection in Temporal-Spatial Transform Pulse Shaping System

WEI Hui¹, XU Shi-zhong¹, ZHANG Sheng-jia¹, MA Zhong-lin¹,
SHEN Lei¹, ZENG Wen-zhang², CHEN Shao-he¹

(¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)
(² Department of Physics, Quanzhou Teacher's College, Quanzhou, Fujian 362000, China)

Abstract A novel method is presented for compensating deflection in temporal-spatial transform pulse shaping system, using single-mode optical fiber instead of a second electrooptic deflector. By changing the width of filtering slit, pulse duration ranging from 740 ps to 4.5 ns is observed, and output beam is of good quality. This novel method has reduced requirements on electrooptic deflector and simplified the whole system.

Key words laser technique; pulse shaping; temporal-spatial transform; single-mode optical fiber; compensate deflection; electrooptic deflector

1 引言

激光脉冲整形单元是惯性约束聚变(ICF)装置中的一个重要组成部分。惯性约束聚变的实现要求激光脉冲辐照靶而产生的消融压力有步骤地增加, 这就要求一定要有合适形状的激光脉冲作驱动源。激光脉冲的形状将直接影响靶丸内爆的动力学过程, 在费米筒并态下实现聚变反应可以减小对内爆压力的要求。此外, 还可以通过对整形脉冲的预先补偿来克服饱和放大、频率转换等过程引入的非线性。因此时间上整形的激光脉冲对提高驱动器能量

的利用率十分关键。

激光脉冲整形是控制激光脉冲波形的重要手段, 它是指利用主动或被动的办法, 改变输出激光脉冲的宽度、形状甚至频率等。目前采用的方法主要有: 脉冲堆砌、块状普克尔盒高压削波、电光偏转器时空变换法、集成光学调制技术等。

目前已报道的利用电光偏转器的脉冲整形技术, 可以获得宽度为几十个皮秒到几个纳秒的可调整激光脉冲^[1]。通常时空变换技术采用一对性能完全相同的电光偏转器, 第一个偏转器实现光束的扫描, 然后在扫描线上放置整形小孔, 再用第二个

收稿日期 2002-06-07; 收到修改稿日期 2003-01-08

作者简介: 韦辉(1974—)男(壮族), 广西桂林市人, 现为中国科学院上海光学精密机械研究所博士生, 主要从事激光脉冲整形和万瓦级激光器的研究。E-mail: weihui9@21cn.com

偏转器完成光束的复原^[2,3]。本文提出了时空变换中光束复原的一种新方法,即用单模光纤代替第二个电光偏转器,也达到了光束复原的目的。此方法的优点在于降低了对关键元件电光偏转器的要求,提高了可靠性和稳定性,简化了系统。

2 原理和实验装置

时空变换脉冲整形系统的关键元件是电光偏转器,它是通过特殊的电极结构在晶体中形成电场梯度,利用一阶线性电光效应,在晶体内部产生折射率梯度,从而使通过晶体的光束发生偏转。当使用LiNbO₃作为电光偏转器的材料时,偏转角度与晶体上所加的电压成正比^[4]

$$\theta_{\text{def}} = -\frac{C_s n_e^3 \gamma_{33} V L}{2 D^2} \quad (1)$$

其中结构因子 C_s 与电光偏转器的结构参数有关

$$C_s = \frac{D^2}{V} \frac{dE_z(x)}{dx} \quad (2)$$

n_e 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 为通光孔径。在电光偏转器上施加高压电脉冲的过程中,激光脉冲不同时刻的各个部分将被偏转到不同的角度上,实现了时间到空间的转换。

通常时空变换脉冲整形系统如图1所示,它由透镜 L_1 、 L_2 组成的 $4f$ 系统和一对性能一致的电光偏转器 D_1 、 D_2 构成。单纵模调 Q Nd:YLF 激光器输出几十纳秒宽、幅度稳定的激光脉冲,由分光镜 SM 分一部分光通过 PIN 管触发冷阴极管(krytron)线路,产生快速几千伏高压电脉冲去驱动一对电光偏转器。主光路的激光脉冲经适当延迟后和高压电脉冲同时到达第一个偏转器 D_1 (D_1 位于 L_1 的前焦点),随着电压的增加,光束发生偏转。偏转光束在 L_1 的后焦平面上聚焦扫描成一条线,激光脉冲不同时刻

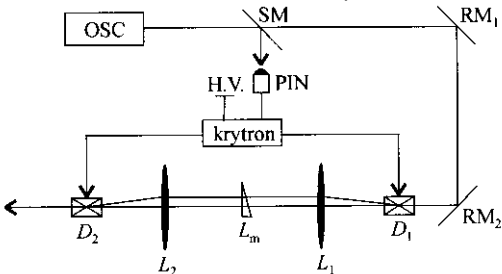


图1 通常时空变换脉冲整形系统的光路示意图

Fig. 1 Experiment setup of conventional temporal-spatial transform method

的各个部分对应于这条扫描线上不同的点,这样时序上光强的变化转换成了空间上扫描线的变化,实现了时间到空间的变换。利用 L_2 和位于其后焦点上的第二个电光偏转器 D_2 把空间上扫开的光束复原,实现空间到时间的还原变换。如果在扫描线上放置一个调制狭缝 L_m ,则依据光束的扫描速度,改变狭缝的宽度和形状,可以控制通过狭缝脉冲的持续时间和强度。通过改变狭缝的宽度、形状来控制激光脉冲的时间波形,这就是时空变换脉冲整形系统的基本原理。

上述方案要求关键元件电光偏转器具有良好的性能,而且扫描和回复偏转器的性能必须一致,时间上保持精确同步,才能满意地实现空间光束复原。为此提出光束复原的一种新方法:用单模光纤代替第二个电光偏转器,承担光束复原的任务。实验装置如图2,经 $4f$ 系统后的扫描线进入显微物镜 L_3 ,在 L_3 焦点处耦合进光纤。

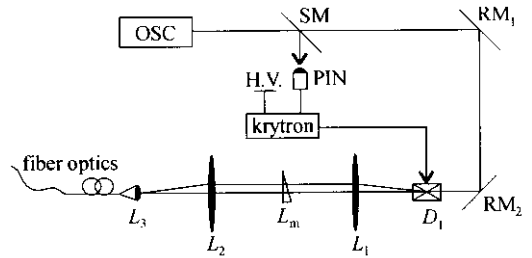


图2 时空变换脉冲整形系统的一种改进方案

Fig. 2 Experiment setup of improved temporal-spatial transform method

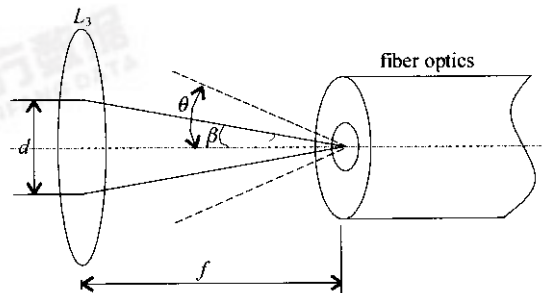


图3 用光纤实现光束复原的几何光学原理

Fig. 3 Schematic of compensating deflection by optical fiber

用光纤代替第二个电光偏转器复原光束的设想基于如下几何光学原理(图3)。由于透镜 L_2 的焦距比显微物镜 L_3 的焦距长得多, L_3 入口处的光束可视为平行光束。假定入口光束直径为 d ,显微物镜 L_3 的焦距为 f ,光纤输入端位于 L_3 的焦点附近,则扫描光束在光纤输入端形成的最大入射角为

$$\sin\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \cot^2\beta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2f/d)^2}} \quad (3)$$

代入实际参量得到 $\sin\beta \approx 0.13$ 。于是只要选择数值孔径 $NA = \sin\theta > \sin\beta \approx 0.13$ 的光纤, 就可以使入射光完全分布在光纤数值孔径 NA 允许的空间范围之内。

由于焦点上的光斑尺寸小于纤芯直径, 而且入射角不超过光纤数值孔径 NA 对应的临界入射角, 所以绝大部分激光能量能够耦合进光纤。光束扫描过程中, 虽然光纤入口处的入射角在变化, 但是始终

小于临界入射角, 仍能充分耦合进光纤并传输到后级, 达到光束复原的目的。由于少了一个电光偏转器, 可以降低对脉冲高压驱动电源负载能力的要求, 在实际应用中, 我们已经成功地用雪崩管或 MOS 管代替极其昂贵的冷阴极管线路。

3 实验结果

改变调制狭缝 L_m 的宽度, 得到了持续时间从 740 ps ~ 4.5 ns 连续可变的整形脉冲。连续改变调制狭缝的宽度时, 输出激光脉冲宽度也相应地连续变化。用 MZ118A 型 O/E Converter 和 Tektronix TDS7404 型数字荧光示波器(带宽 4 GHz)记录的典型脉冲波形如图 4。

为了考察脉冲整形系统输出光束的质量, 用

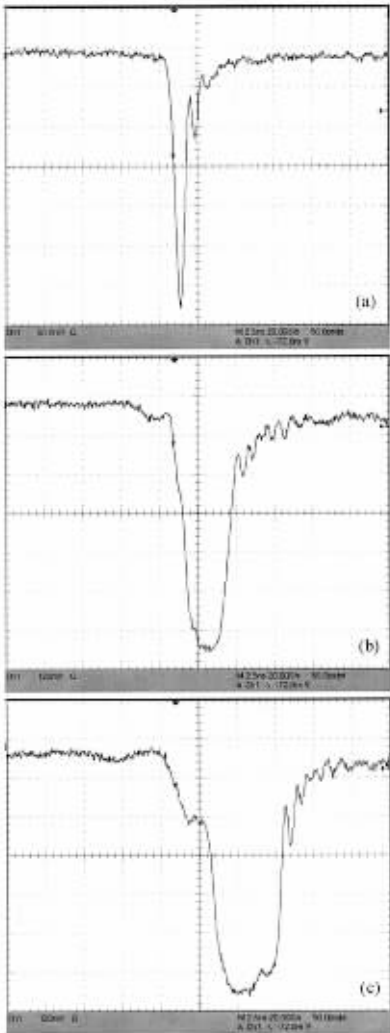


图 4 改进的时空变换法产生的各种形状激光脉冲

- (a) 宽度为 740.5 ps(半高全宽)的脉冲;
- (b) 宽度为 3.033 ns(半高全宽)的脉冲;
- (c) 宽度为 4.528 ns(半高全宽)的脉冲

Fig. 4 Pulses shaped by improved temporal-spatial transform method

- (a) pulse of 740.5 ps width (FWHM);
- (b) pulse of 3.033 ns width (FWHM);
- (c) pulse of 4.528 ns width (FWHM)

万方数据

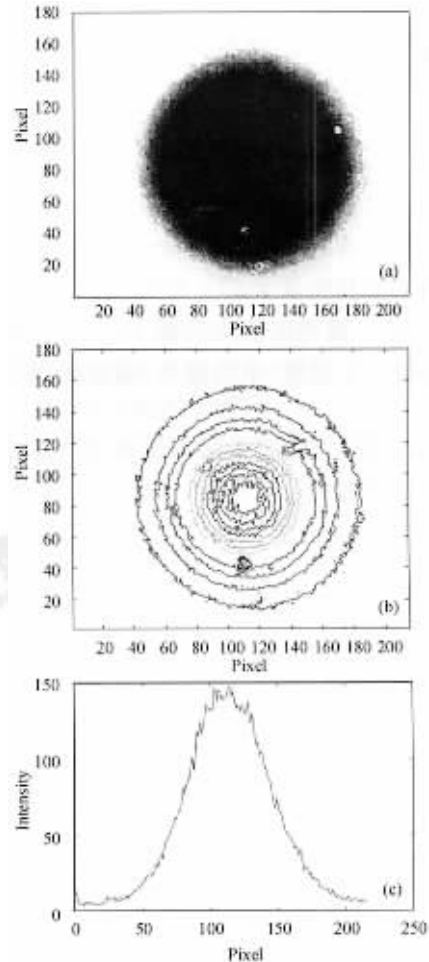


图 5 输出光束的光强空间分布

- (a) 二维光强分布 (b) 强度等高线分布;
- (c) 光斑一维扫描图

Fig. 5 Near field pattern of output laser beam

- (a) 2-D distribution of intensity; (b) contour distribution of intensity; (c) 1-D scanning pattern of spot

CCD 记录了光纤输出端的光斑图像,见图 5。可以看出光斑基本呈圆对称分布,轮廓光滑,光束质量很好(照片中三个较明显的斑点是由于镜头上的霉点所致)。

4 结 论

用单模光纤代替通常时空变换法中的第二个电光偏转器,实现了光束复原。通过改变调制狭缝的宽度,获得了脉宽在 740 ps ~ 4.5 ns 范围内连续变化的激光脉冲,而且输出光束质量很好。如果使狭缝宽度在扫描线方向上按照一定规律连续变化,或者将狭缝换成具有特定透过率分布的灰度调制元件,以改变不同空间位置的光通量,可望获得各种复

杂形状的激光脉冲。

参 考 文 献

- 1 A. R. Isaakyan, K. V. Kolchin, B. I. Makshantsev. Possibility of generating femtosecond laser pulses by a deflection method [J]. *Quantum Electron.*, 1993, **23**(5) 417 ~ 422
- 2 V. I. Kryzhanovskii, V. A. Serebryakov, V. R. Startsev *et al.*. Fast-response electrooptic deflectors and their use in the control of time parameters of laser pulses in the range $10^{-11} \sim 10^{-8}$ sec [J]. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1982, **12**(1) 48 ~ 52
- 3 V. I. Kryzhanovskii, A. A. Chertkov, V. A. Malinov *et al.*. Contrast ratio of laser pulses shaped by electrooptic deflectors [J]. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1985, **15**(2) 239 ~ 241
- 4 Xu Faming, Fan Dianyuan, Chen Shaohe *et al.*. Study of LiNbO₃ electro-optic deflector [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(3) 369 ~ 372
许发明, 范滇元, 陈绍和等. LiNbO₃ 电光偏转器的研究 [J]. 光学学报, 1996, **16**(3) 369 ~ 372

征 订 启 事

由中国电子学会和中国光学学会联合主办,中国科学院上海光学精密机械研究所承办的第十六届全国激光学术会议于 2003 年 10 月 19 ~ 22 日在上海举行,会议论文集将由本编辑部以增刊形式出版。

本期增刊共收录了 170 多篇论文,约 600 多页,除以纸质媒体出版外,还将出版光盘版,出版时间为 2004 年 2 月。增刊定价为每册 100 元,光盘版为每张 50 元。如需订阅的单位或个人请将款项由邮局汇至上海市 800-211 信箱《中国激光》编辑部,邮编 201800。

《中国激光》编辑部
2004 年 2 月