

飞秒放大激光脉冲的单次测量

王益民 李传东 韩申生 张正泉 徐至展

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 在未加任何色散补偿的情况下,用相关方法直接测量得到了脉冲宽度为 39 fs 的单次放大激光脉冲。为实时测量低重复频率的超短强激光脉冲提供了可靠的手段。

关键词 飞秒激光, 相关测量, 放大激光脉冲

1 引 言

近年来,随着啁啾脉冲放大技术的发展,超短超强激光脉冲的产生有了很大的突破^[1,2]。脉冲宽度不断压窄,峰值功率迅速提高。这些激光系统的广泛应用,将为物理、化学、生物等学科中超强超快过程的研究提供强有力的手段。随着激光脉冲宽度的不断压缩,激光脉宽的准确测量成为一个重要的问题。条纹相机是比较常用的一种测量超短脉冲的工具,但它的分辨率仅能达到皮秒量级,不适用于亚皮秒、飞秒激光脉冲的测量。为了测量亚皮秒的激光脉冲,人们采用了二阶强度自相关法。由于早期的飞秒激光脉冲大多是由振荡器产生的(例如:碰撞锁模染料激光器),激光脉冲的重复率高(一般在 100 MHz 左右),单脉冲能量低,脉冲之间的稳定性也比较好,所以传统的强度相关方法测量得到的相关曲线是建立在大量激光脉冲的基础之上的。因此,对于低重复频率(几十 Hz)的飞秒放大激光脉冲来说,为了对脉冲宽度进行准确测量和便于装置的调整,需要建立能对单次激光脉冲进行实时监测的方法。本文介绍了一种单次脉冲的测量方法,利用这种方法,我们直接测量得到了宽度为 39 fs 的放大激光脉冲。

2 原 理

在过去的皮秒激光装置中,人们已经采用过单次脉冲测量方法来测量激光脉冲的宽度^[3]。单次脉冲测量的基本方法就是将激光脉冲的时间分布转换为空间分布,然后用一探测器(如 CCD)对空间上的光强分布进行测量,通过对测量结果的分析得出光脉冲的时间特征。

具体方法如下:将一激光脉冲分为两束,然后同时入射到一非线性晶体中重合,如图 1 所示。设两束光的时间强度分布分别为 $I_1(t)$ 和 $I_2(t)$,则在晶体中的坐标 x_0 处,瞬时二次谐波(SH)的信号强度正比于 $I_1(t - \tau) \times I_2(t + \tau)$,其中 τ 为 x_0 处两束光的时间延迟。由于探测器对二次谐波的反应是一个对时间的积分过程,所以探测器所接收到的光信号 $S(x)$ 为

$$S(x) \propto \int_{-\infty}^{\infty} I_1(t - \tau) I_2(t + \tau) dt \propto G_2(2\tau) \quad (1)$$

因此,通过记录 SH 信号的空间分布,就能得到入射的激光脉冲的二阶强度相关曲线,通过对相关曲线的分析,可实现对脉冲宽度的测量。在实际测量中,需要确定 SH 信号宽度与实际的脉冲宽度之间的关系,即对相关曲线进行定标。方法如下:将入射到晶体上的两束光中的一路延迟 Δt_0 ,则在 x 方向上的 SH 信号的峰值位置将移动 Δx_0 ,因为 $S(x) \propto G_2(2\tau)$,可得到 SH 信号的空间分布曲线 $S(x)$ 的半宽度(FWHM) δ_0 与入射光脉冲的半宽度(FWHM) τ_0 之间的关系为^[4]

$$\tau_0 = \frac{\delta_0 \Delta t_0}{K \Delta x_0} \quad (2)$$

其中 K 是一个与入射光脉冲的时间形状有关的波形因子,对于 Sech^2 脉冲, $K = 1.55$,对于高斯脉冲, $K = 1.44$ 。通过(2)式,由测得的 SH 信号的半宽度 δ_0 ,就可求出入射激光脉冲的脉宽 τ_0 。

3 实验结果及讨论

我们建立了一套实验装置,如图 2 所示,其中 M_1 为一半透半反镜,厚度为 0.3 mm, M 为一直角反射镜,可前后移动用以定标, S 为狭缝,用来拦去基频光以及它们的自倍频光, L 为一透镜,焦距为 50 mm,所用倍频晶体为 LBO,厚度为 0.1 mm,测量装置中所用的反射镜全部采用银膜,以消除介质膜可能带来的色散展宽的影响。探测器为一维 CCD,由 CCD 输出的信号直接由示波器来检测。所需测量的激光脉冲来自一套飞秒钛宝石激光放大装置;该装置由三级放大器组成,所使用的振荡器为一台自锁模钛宝石激光器,输出脉冲宽度为 24.6 fs,中心波长为 795

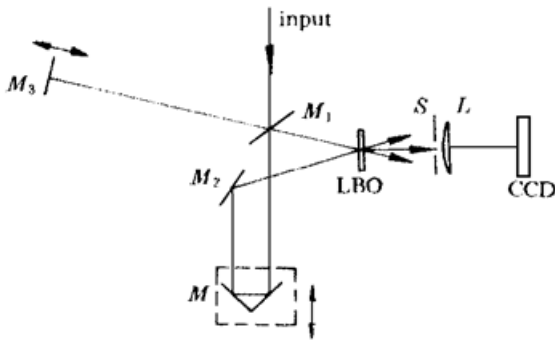


图 2 用于测量脉宽的实验装置

其中 M_1 为一半透半反镜,厚度为 0.3 mm; M 为直角反射镜; L 为一聚焦透镜,焦距为 50 mm;所用的倍频晶体为 LBO,厚度为 0.1 mm;探测器为一维 CCD

Fig. 2 Experimental set-up used for the measurement of the pulse width

M_1 is a 0.3-mm-thick beam splitter, and M represents a rectangular reflector. The lens L used here has a focal length of 50 mm. The SHG crystal is a 0.1-mm-thick LBO, and the detector is a one-dimensional CCD

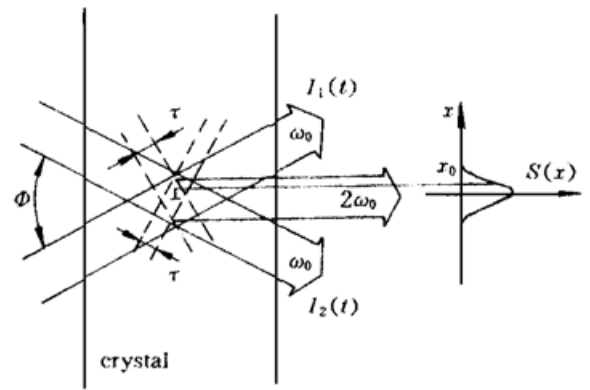


图 1 两飞秒激光束在一非线性晶体中的相互作用

Fig. 1 Interaction of two femtosecond laser beams in a nonlinear crystal

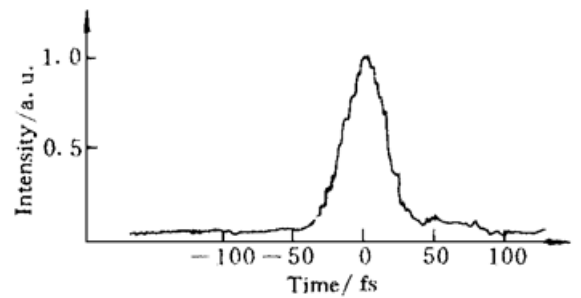


图 3 单次激光脉冲的自相关曲线,脉冲半宽度为 39 fs

Fig. 3 Single-shot autocorrelation curve with a width of 39 fs (FWHM)

nm。从振荡器输出的飞秒光脉冲经过光栅展宽器展宽后,进入再生放大器,光脉冲在再生放大器中可获得约 6×10^5 的能量增益,然后经过脉冲选择器和前置放大器,光脉冲被放大到约 30 mJ,输出后进入主放大器,前置放大器和主放大器的工作物质均为钛宝石晶体,经过主放大器放大的激光脉冲,最后进入由光栅对组成的脉冲压缩器,压缩后输出峰值功率为 TW 量级的飞秒强激光脉冲,脉冲重复率为 10 Hz。图 3 为示波器记录的由 CCD 探测到的倍频晶体所产生的二次谐波信号的空间分布曲线,显示出的激光脉冲宽度为 39 fs。

一般情况下,为了进行超短脉冲的准确测量,在光进入测量装置之前,需要增加额外的色散补偿元件,以抵消超短脉冲在通过各种介质时可能产生的展宽(例如从振荡器出射的激光要通过很厚的输出腔镜)。在我们的测量过程中,放大的激光脉冲在经过光栅压缩器后,直接进入了测量装置,中间没有穿过任何光学元件,所以在实验中没有附加任何色散补偿措施。另外,在我们的相关器中,没有什么明显的引起光束展宽的因素存在,因此可以推测,本装置有能力对更短宽度的激光脉冲进行测量。

总之,我们建立了一台分辨率优于 $40f_s$ 的单脉冲自相关器,利用它直接测量得到了脉冲宽度为 39 fs 的放大激光脉冲,这为实时测量低重复频率的超短强激光脉冲提供了可靠的手段。

参 考 文 献

- 1 T. Ditmire, M. D. Perry. Terawatt Cr:LiSrAlF₆ laser system. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(6): 426~ 428
- 2 Jianping Zhou, Chung-Po Huang, Margaret M. Murnane *et al.*. Amplification of 26-fs, 2-TW pulses near the gain-narrowing limit in Ti:sapphire. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(1): 64~ 66
- 3 R. N. Gyuzalian, S. B. Sogomonian, Z. Gy. Horvath. Background-free measurement of time behavior of an individual picosecond laser pulse. *Opt. Commun.*, 1979, **29**(2): 239~ 242
- 4 F. Salin, P. Georges, G. Roger *et al.*. Single-shot measurement of a 52-fs pulse. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(21): 4528~ 4531

Single-shot Measurement of Amplified Femtosecond Laser Pulses

Wang Yimin Li Chuandong Han Shensheng Zhang Zhengquan Xu Zhizhan

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

Abstract A single-shot 39 fs amplified laser pulse is measured by using a correlation method without extra dispersion compensation. This gives a reliable means of measuring low repetition rate ultra-short laser pulses.

Key words femtosecond laser, correlation measurement, amplified laser pulse