

用高动态范围的相关器研究强激光脉冲的噪声分布

王益民 杨晓东 张正泉 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 建立了一台动态范围大于 10^7 的三阶相关装置, 利用它对飞秒放大激光脉冲的背景强度的时间分布进行了测量。测量结果显示, 在激光主脉冲的前后, 分别存在有强度为主脉冲强度的 10^{-5} 倍的本底噪声。

关键词 三阶相关, 时间测量, 本底噪声。

1 引 言

在研究高密度等离子体物理及超快 X 射线发射的过程中, 高功率的超短强激光脉冲一直是一个重要的手段^[1, 2]。近年来, 亚皮秒的啁啾脉冲放大系统已将激光脉冲的能量放大到了百毫焦耳的量级, 聚焦强度可达到 10^{20} W/cm²^[3], 这么高的激光强度可被广泛应用于固体和气体靶中等离子体的形成过程及高次谐波发射的研究。在实验研究中, 这些物理过程的效果对于激光脉冲的形状是很敏感的, 特别在等离子体的产生过程中, 任何低强度的噪声脉冲的存在都会严重破坏等离子体的形成。因此, 在实际应用过程中对于激光脉冲的时间强度分布要求是比较严格的, 特别是激光脉冲的对比度要达到一定的水平, 所以准确测量激光脉冲的对比度是一个很重要的问题。

激光脉冲的对比度一般用激光脉冲主脉冲的峰值功率与噪声脉冲的峰值功率的比来表示。条纹相机是超短脉冲测量中的一种常用工具, 但由于其动态范围较小, 时间分辨率仅能达到亚皮秒量级, 不适合于飞秒(fs)时间范围内的激光脉冲对比度的测量。为此人们采用了相关技术^[4, 5], 其中包括二阶相关方法和三阶相关方法。作者建立了一台动态范围大于 10^7 的三阶相关器, 并利用它对实验室中的 2 TW/50 fs 台式激光装置的激光脉冲的时间特性进行了测量。

2 原 理

在超短激光脉冲的时间测量过程中, 利用二次谐波法的二阶相关技术得到了广泛的应用。但由于二阶相关函数本身为时间对称的, 二次谐波法无法反映激光脉冲本身的时间形

状,也就没有办法探测噪声脉冲的准确位置。在实际应用中,不仅需要知道激光脉冲对比度的大小,还需要知道噪声脉冲的位置,以便于研究噪声产生的来源和探索减弱激光噪声的方法。因此在飞秒激光脉冲的对比度测量过程中,三次谐波法成为受人关注的一种方法。本文采用高斯脉冲近似,即假定放大后的激光主脉冲的时间形状和噪声脉冲的时间形状都为高斯形,则放大脉冲的时间函数可表示为:

$$I(t) = I_m \exp(-t^2/a) + I_p \exp[-(t+T)^2/b] \quad (1)$$

式中 I_m 和 I_p 分别表示主脉冲和噪声脉冲的峰值功率, a 和 b 与两个脉冲的时间宽度有关, T 为两个脉冲之间的时间间隔。(1) 式表示,在激光主脉冲的前面时间 T 处,存在有一个峰值功率为 I_p 的噪声脉冲,放大脉冲的信噪比为 $R_0 = I_m/I_p$ 函数。 $I(t)$ 的三阶相关函数可表示为:

$$I_c(\tau) = \int I(t)I^2(t-\tau)dt \quad (2)$$

其中 τ 为 $I^2(t)$ 与 $I(t)$ 之间的时间延迟。将(1) 式代入(2) 式中,经过积分运算和化简^[6],可得到 $I(t)$ 的三阶相关函数为:

$$I_c(\tau) = \sqrt{\frac{\pi a}{3}} I_m^3 \exp(-\frac{2}{3a}\tau^2) + \sqrt{\frac{\pi ab}{a+2b}} I_m^2 I_p \exp\left[-\frac{2}{a+2b}(\tau+T)^2\right] \quad (3)$$

(3) 式显示,在 $\tau=0$ 和 $\tau=-T$ 处分别有一激光脉冲,这与原激光脉冲的时间特征是一致的,反映出了噪声脉冲的准确位置;由 $I_c(\tau)$ 可以看出相应的激光脉冲的对比度为 $(2/3 + a/3b)^{1/2} R_0$,因此,通过三阶相关函数,可以比较准确有反映出原函数所代表的激光脉冲的信噪比的大小以及前置噪声脉冲的时间形状。

3 实验结果及讨论

对于一激光脉冲信号,获得其三次相关函数的最常用的方法就是三次谐波法,具体方法

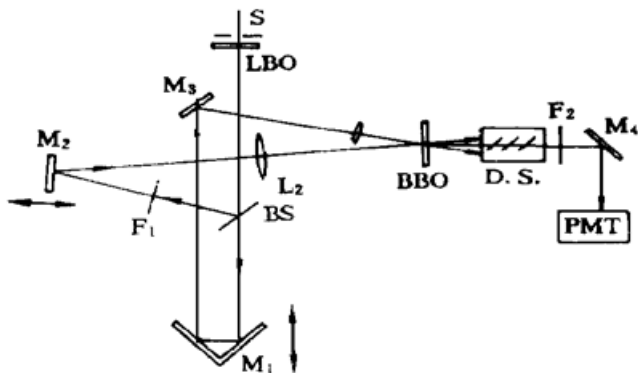


Fig. 1 Experimental setup of a triple correlator. where BS: Beam splitter, M_1 : Retro-reflector, M_2 , M_3 , M_4 : Mirrors, F_1 , F_2 : Filter, CA: calibrated attenuators

如下:将一激光脉冲经过倍频晶体倍频后分为两束,一束为基频光 $I_1(\omega)$,另一束为倍频光 $I_2(2\omega)$,将两束光经光学延迟 τ 后,入射于一和频晶体中,产生三次谐波信号。在实验中,建立了一台非共线三阶相关实验装置,如图 1 所示。其中 BS 为一半透半反镜,厚度为 0.5 mm; M_2 、 M_3 为镀银的全反镜; M_4 为 267 nm 波长的高反镜; M_1 为一直角反射镜,可前后移动,用以提供光延迟; S 为光阑;所用倍频晶体为 LBO,厚度为 0.1 mm;所用三次谐波晶体为 BBO;厚度为 0.5 mm; F_1 、 F_2 为滤光片,分别滤掉 800 nm 和 400 nm 的光;为了方便三次谐波信号的调整,在

聚焦光路中首次采用了两个聚焦透镜 L_1 、 L_2 ,焦距分别为 50 mm 和 150 mm,这种双透镜聚焦方式大大方便了三次谐波信号的调整;CA 为一组定标衰减片,用以获得测量所需的动态范围;所用探测器为光电倍增管(PMT)。

所测量的激光脉冲来自一套飞秒钛宝石激光放大装置。该飞秒台式激光系统由三级放大器组成,使用一台自锁模钛宝石激光器作为种子源,其输出脉冲宽度为 24.6 fs,中心波长

795 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, 压缩后输出脉冲重复频率为 10 Hz、72 TW 的飞秒强激光脉冲。

利用三阶相关装置测量了飞秒量级内放大激光脉冲的时间强度分布情况, 如图2所示,

其中横坐标为红光(795 nm)相对于蓝光(398 nm)的时间延迟, 通过调整 M 镜得到; 纵坐标为归一化的信号强度 I/I_{\max} , I 是由光电倍增管所测得的三次谐波信号的强度, I_{\max} 是实验中测得的三次谐波信号的强度的最大值。测量过程中没有出现光电倍增管的饱和现象。由图可以看出, 激光主脉冲的前沿明显陡于后沿, 这与一般的脉冲放大的结果是一致的。激光主脉冲前边 1 ps 处存在的一个明显的尖峰脉冲, 它是由光在 LBO 晶体表面上的垂直反射造成的, 并不是噪声脉冲。在激光主脉冲前面约 1.8 ps 处, 存在一个较明显的本底脉冲, 其峰值强度大约为激光主峰强度的 10^{-5} 倍; 在主脉冲的后边, 存在一个平台, 其强度也在主峰强度的 10^{-5} 左右。

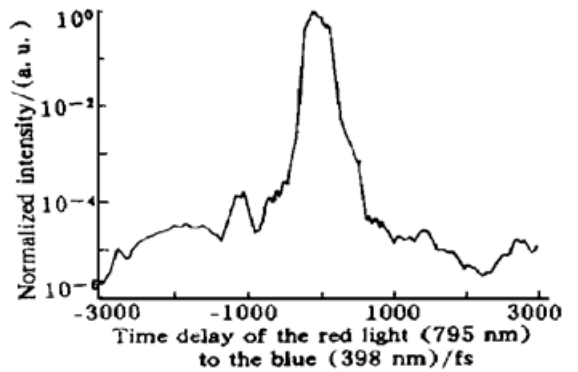


Fig. 2 Temporal shape measured by means of a triple correlator. It shows that the contrast ratio of the main laser pulse versus noise pulse is 10^5

调整光栅压缩器, 激光脉冲的对比度没有明显的改变。一般飞秒钛宝石激光振荡器的对比度都高于 $10^{5[4]}$, 因此, 放大脉冲中存在的大于 10^{-5} 的本底噪声, 应该与放大过程有关。因为在放大过程中, 会出现由各种原因造成的激光光谱的窄化畸变现象, 使得脉冲压缩器难以将放大后的啁啾脉冲压缩回原来的水平。利用在放大过程中加入饱和吸收体的方法, 可以抑制背景脉冲, 提高激光系统的信噪比^[7]。但传统的饱和吸收体为慢饱和吸收体, 只能改变皮秒量级内的噪声水平, 对于飞秒量级内的信噪比的改善, 并不适用。因此, 必需考虑利用快饱和吸收体或采用无畸变光谱放大的方法, 来降低背景脉冲, 提高激光系统的信噪比。

总之, 建立了一台高动态范围的无背景三阶相关仪, 利用它对一套台式 2 TW/50 fs 放大激光装置输出脉冲的时间强度分布进行了测量。测量结果显示, 压缩后的激光脉冲为非对称型, 脉冲前沿陡于后沿, 在激光主脉冲的前后, 分别有强度为主脉冲峰值强度的 10^{-5} 倍的宽的噪声脉冲存在, 它们与脉冲放大过程中的光谱畸变有关。

参 考 文 献

- [1] M. M. Murnane, H. C. Kapteyn, R. W. Falcone. High-density plasmas produced by ultrafast laser pulses. *Phys. Rev. Lett.*, 1989, **62**(2): 155~158
- [2] O. L. Landen, E. M. Campbell, M. D. Perry. X-ray characterization of picosecond laser plasmas. *Opt. Commun.*, 1987, **63**(4): 253~258
- [3] C. P. J. Barty, C. L. Gordonand, B. E. Lemoff. Multiterawatt 30-fs Ti:sapphire laser system. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(18): 1442~1444
- [4] A. Braun, J. V. Rudd, H. Cheng *et al.*. Characterization of short-pulse oscillators by means of a high-dynamic-range autocorrelation measurement. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(18): 1889~1891
- [5] G. Albrecht, A. Antonetti, G. Mourou. Temporal shape analysis of Nd³⁺:YAG active passive mode-locked pulses. *Opt. Commun.*, 1981, **40**(1): 59~62
- [6] 王益民, 韩申生, 张正泉等. 利用相关技术测量激光脉冲的对比度. *光学学报*, 1997, **17**(4): 493~496

- [7] Y. -H. Chuang, D. D. Meyernofer, S. Augst *et al.*. . . Suppression of the pedestal in a chirped-pulse-amplification laser. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1991, **8**(6) : 1226~ 1235

Noise Structure Studies of Laser Pulses by Means of a High-Dynamic-Range Triple Correlator

Wang Yimin Yang Xiaodong Zhang Zhengquan Xu Zhizhan

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

(Received 3 June 1997; revised 22 December 1997)

Abstract The noise structure measurement of fs amplified laser pulses by means of a 10^7 high dynamic range triple correlator is reported. Results show that there exist noise pulses with the amplitude of 10^{-5} of the main pulse before and after it.

Key words triple correlation, time measurement, ground noise.