

超短超强激光对比度的测量研究

王兆华, 王 鹏, 魏志义, 张 杰

(中国科学院 物理研究所, 北京 100080)

摘 要: 为了准确地确定飞秒激光对比度的信息, 基于两束不同激光的互相关原理, 利用非线性晶体对激光强度变化十分敏感的特性, 研制了一台三阶相关仪, 并用其对钛宝石激光放大系统输出的飞秒激光脉冲进行了测量, 得到了有关该系统的强度对比度的信息。结果显示: 该系统输出的激光对比度在 10^6 左右, 在脉冲的前沿和后沿有很强的 ASE 辐射, 并且延续了很长的一段时间; 种子脉冲的对比度在 10^5 左右, 而且在主脉冲前沿约 2ps 的位置上, 有一个强度很低的小脉冲, 在主脉冲的两翼各有一个非常小的台阶。

关键词: 飞秒激光; CPA 技术; 三阶相关; 强度对比度

中图分类号: O437 **文献标识码:** A

在强场物理实验中, 激光系统大多数采用啁啾脉冲放大(CPA)技术^[1,2]。这种激光系统具有体积小、成本低及峰值功率极高等优点。CPA 技术靠产生超短脉冲而得到极高峰值功率的激光输出, 在这一过程中, 短脉冲的前沿和后沿会留下很强的自发辐射放大(ASE)激光, 它与主激光脉冲相比, 在强度上小 $10^6 \sim 10^7$ 量级, 会持续很长的时间, 可以达到几个 ns 的尺度。在超短超强激光与物质相互作用实验中, 激光聚焦强度都会在 10^{15} W/cm² 以上, ASE 的聚焦强度可以达到 10^{10} W/cm² 以上, 在这样的强度下可以产生等离子体^[3~5], 因此在主脉冲与物质相互作用前, 已经存在由 ASE 与物质作用时产生的等离子体, 这些等离子体改变了主脉冲与物质相互作用过程中等离子体的初始状态, 对这一过程中实验结果的处理和物理现象的分析产生了重大影响。因此如何准确地判定 ASE 的强度以及其存在的时间对于强场物理实验具有极其重要的意义。我们对这一问题进行了探讨和研究, 利用晶体的非线性效应对激光强度变化非常敏感的特性, 采用三阶相关法对钛宝石激光放大系统输出激光的对比度特性进行了测量和分析, 给出了强度对比度曲线。

1 实验原理

在三阶相关测量中, 先将待测激光入射到一块倍频晶体上, 产生二次谐波, 用一片双色镜将基频光和倍频光分开, 然后让基频光通过一个延迟线, 再和倍频光一起聚焦到一块薄的和频晶体上, 产生三次谐波, 最后用光电倍增管接收三次谐波, 用计算机采集其强度信号, 改变延迟并进行扫描就可以得到三阶相关曲线。由于在这一过程中是两束不同的激光在相互作用, 为了与自相关过程相区别, 就将这种过程称为互相关。我们用 $I_1(t)$ 表示基频光强度, 用 $I_2(t)$ 表示倍频光强度, 则互相关函数可以表示为^[6~8]

$$I_{cc}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} I_1(t-\tau) I_2(t) dt$$

2 实 验

我们的实验是在小型掺钛蓝宝石飞秒激光放大系统上进行的。该激光器的中心波长为 800nm, 重复频率为 10Hz, 单脉冲能量为 5mJ, 脉冲宽度约为 150fs。先将 800nm 激光入射到一块 1mm 厚的 BBO 晶体上, 产生 400nm 的二次谐波, 该晶体的匹配角为 29.2° ; 用一片双色镜将基频光和倍频光分开, 再让 800nm 激光通过一个延迟线, 使它和 400nm 激光之间有一个时间延迟 τ , 然后再和 400nm 的激光一起聚焦到一块 $100\mu\text{m}$ 厚的 BBO 晶体上, 产生 266nm 的三次谐波, 该晶体的匹配角为 44.26° ; 用光电倍增管接收三次谐波, 用计算机采集其强度信号, 改变延迟并进行扫描就可以得到反映激光强度对比度的三阶相关曲线。实验装置如图 1 所示。

在实验中, 800nm 的激光为垂直偏振, 经倍频晶体倍频后, 产生 400nm 蓝光, 由于是 I 类相位匹配, 因此蓝光为水平偏振, 然后 800 和 400nm 激光同时入射到一片二相色性镜片上, 该镜片对 800nm 激光高透, 对

• 收稿日期: 2003-09-23; 修订日期: 2004-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(60225005); 国家 863 计划项目资助课题; 国家基础研究 973 项目资助课题(G1999075202)

作者简介: 王兆华(1977—), 男, 山东兖州人, 博士研究生, 从事于飞秒激光诊断测试技术研究。

魏志义(1963—), 男, 研究员, 从事于飞秒激光产生、放大及诊断测试技术研究, E-mail: wzhy@aphy. iphy. ac. cn.

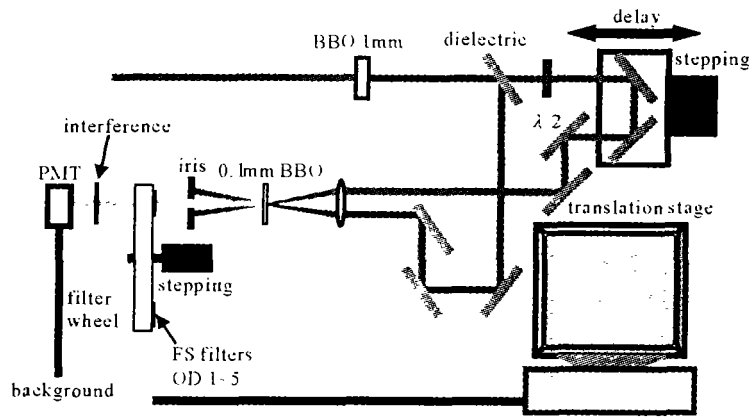


Fig. 1 Schematic of measurement system

图 1 实验装置图

400nm 激光 45°高反,它将 800nm 和 400nm 激光分开,让它们分别经过不同的光路。为了让两束激光的光程相等,在 800nm 激光光路上加入了一个可变延迟线,调节 800nm 和 400nm 激光,使它们在空间上完全平行,用一块聚焦透镜将它们聚焦到和频晶体上。由于和频晶体是 I 类相位匹配,这要求 800nm 和 400nm 的激光偏振方向相同,因此需要在 800nm 光路上加入一片半波片,使其由垂直偏振转变为水平偏振,这样调节延迟线和晶体匹配角就可以得到 266nm 的三次谐波。

在测量过程中,改变延迟时三次谐波的强度会发生变化,经历着一个由弱及强又到弱的过程,用光电倍增管接收信号时,比较强的光会导致其饱和,因此我们用一组不同透过率的衰减片来改变入射到光电倍增管上的三次谐波的强度。当采集过程结束时,用实际测量到的信号强度乘上衰减倍数就可以得到真实的三阶相关信号。

3 实验结果和讨论

在实验中,我们首先对放大后的激光进行了测量,得到的对比度曲线如图 2 所示。

从曲线中可以看出,该系统输出的激光的对比度在 10^6 左右,在脉冲的前沿和后沿有很强的 ASE 辐射,并且延续了很长的一段时间,图中的噪声信号是由两块 BBO 晶体的前后面反射造成的,它不反映真实的对比度信息。在强场物理实验中,该系统输出的激光在聚焦后可以达到 $10^{15} \sim 10^{16} \text{ W/cm}^2$,而 ASE 聚焦后的强度也可以达到 $10^{10} \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$ ^[9],这样的强度已经可以产生等离子体,这些等离子体会改变主激光脉冲与物质相互作用时的等离子体的初始状态,从而严重影响实验结果的处理和分析。

此外,为了对系统有更进一步的了解,我们又对种子脉冲进行了测量,图 3 为测量得到的种子脉冲的对比度曲线。

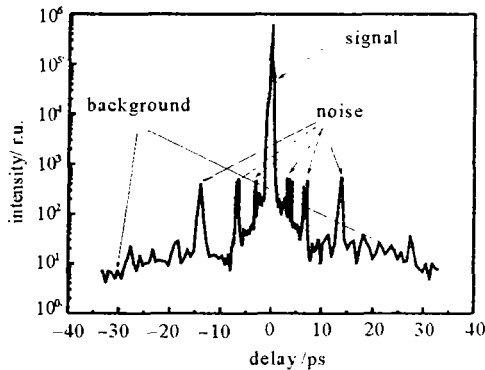


Fig. 2 Contrast ratio of amplified laser pulses

图 2 放大后的激光脉冲的对比度曲线

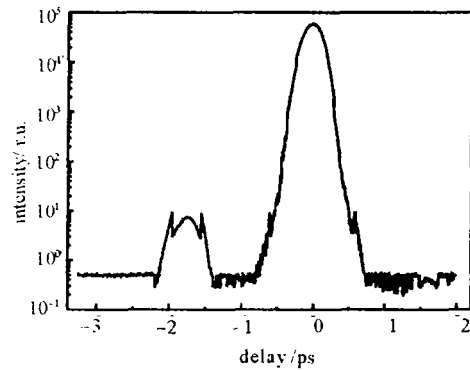


Fig. 3 Contrast ratio of seed pulses

图 3 种子脉冲的对比度曲线

从对比度曲线中可以看出,种子脉冲的对比度在 10^5 左右;而且在主脉冲前约 2ps 的位置上,有一个强度很低的小脉冲,在主脉冲的两翼各有一个非常小的台阶。小脉冲和台阶在放大系统中被放大,它们会吸收一些能量,使得主脉冲不能够得到最理想的放大。

4 结 论

我们简述了三阶相关法的原理,并用其对钛宝石激光放大系统进行了测量,得到了该激光器的三阶相关曲线,通过对该曲线的分析,得到了该系统输出的飞秒激光的对比度信息。测量结果显示;该系统输出的激光对比度在 10^6 左右;种子脉冲的对比度在 10^5 左右。由于它能够给出强度对比度信息,因此在检测激光系统的“健康状况”,对系统优化提供判据,给强场物理实验提供参考等方面有重要的实用价值。

参考文献:

- [1] Wei Z Y, Zhang J. Highly efficient TW multipass Ti:sapphire laser system[J]. *Science In China*, 2000, **43**(10):1083—1087.
- [2] Xia J F, Wei Z Y, Zhang J, et al. Demonstration of high conversion efficiency to second harmonic in a wide tuning range[J]. *Optics and Laser Technology*, 2000, **32**: 241—244.
- [3] Li Y T, Zhang J, Sheng Z M, et al. Spatial distribution of high-energy electron emission from water plasmas produced by femtosecond laser pulses[J]. *Physics Review Letters*, 2003, **90**(16) :165002(1—4).
- [4] Malka G. Relativistic electron generation in interactions of a 30TW laser pulse with a thin foil target[J]. *Physical Review E*, 2002, **66**: 066402(1—8).
- [5] Hosokai T. Effect of a laser prepulse on a narrow-cone ejection of MeV electrons from a gas jet irradiated by an ultrashort laser pulse[J]. *Physical Review E*, 2003, **67**:036407(1—8).
- [6] Edelstein D C, Wachman E S, Cheng L K, et al. Femtosecond ultraviolet pulse generation in BBO[J]. *Appl Phys Lett*, 1988, **52**(26): 2211—2213.
- [7] Aoyama M. Contrast and phase characterization of a high-peak-power 20-fs laser pulse[J]. *Applied Physics B*, 2000, **70**:S149—S152.
- [8] Baronavski A P. Analysis of cross correlation, phase velocity mismatch, and group velocity mismatches in sum-frequency generation[J]. *IEEE J Quantum Electronics*, 1993, **29**:580—589.
- [9] Zhang P, Zhang J, Chen D B, et al. Effects of a prepulse on γ -ray radiation produced by a femtosecond laser with only 5mJ energy[J]. *Physical Review E*, 1998, **67**(4):R3746—R3748.

Contrast measurement of ultra-intensity laser pulses

WANG Zhao-hua, WANG Peng, WEI Zhi-yi, ZHANG Jie

(Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A third-order correlator is built based on the technique of cross-correlation between the fundamental and second harmonic waves of femtosecond lasers. Using this correlator, the contrast ratio of femtosecond laser pulses from a typical CPA laser system is measured. The measurements show that the contrast ratio of the system is about 10^6 . There is a strong ASE beside the main pulse, lasting for a long time. The seed contrast ratio is about 10^5 . There is a little pulse at the 2ps before the main pulse and a small stage at the two sides of main pulse.

Key words: Femtosecond laser; CPA; Third-order correlation; Contrast ratio