

超短脉冲激光的脉宽测量

文国庆 张树葵 周丕璋 陈 骥 邬玉婷 满永在

(西南核物理与化学研究所, 成都 525 信箱, 610003)

摘 要 采用二次谐波相关技术, 研制了一台可用于飞秒超短脉冲激光脉宽测量的光学相关仪。通过合理设计和选择分束、并束装置及光学延迟元件, 获得了 3:1 曲线以及无背景相关曲线, 实现了对超短脉冲激光脉宽的测量。

关键词 强度相关测量 激光脉宽测量

ABSTRACT This paper describes an optical autocorrelator capable of measuring fs ultrashort laser by using second-harmonic correlation. We successfully obtained the 3:1 and background-free correlation curves through proper designing and choosing the beam-splitting device and the optical delay components.

KEY WORDS autocorrelation measurement, laser pulsewidth measurement

1 引 言

近年来, 由于超短脉冲激光的飞速发展, 超短脉冲激光脉宽的测量已成为激光研究的一个重要方面。从目前看, 当今最好的光电探测元器件的时间响应都大于 10^{-12} s, 而锁模激光器已能产生飞秒 (10^{-15} s) 量级脉宽的锁模光脉冲^[1]。对如此窄的光脉冲, 强度相关测量便成为唯一的测量手段^[2]。本文介绍一台用于飞秒超短脉冲激光脉宽测量的相关仪及实验结果。

2 原 理

如图 1 所示, 一束待测超短脉冲序列被分束镜 S 等分为两束, 其中一束经全反镜 M_1 直接反射, 另一束被 M_2 反射, M_2 置于由电机带动的可平移调整架上。两束光被反射后再次通过分束镜的反射并共线入射到倍频晶体中。设两束光波在进入晶体前可分别表示为:

$$\left. \begin{aligned} E_1(t) &= \varepsilon(t)e^{i\theta_1} = E(t) \\ E_2(t) &= \varepsilon(t-\tau)e^{i\theta_2} = E(t-\tau) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中 $\theta_1 = \omega t + \varphi_0(t)$, $\theta_2 = \omega(t-\tau) + \varphi_0(t-\tau)$, 是位相角。式中的 τ 为两脉冲的相对时间延迟, 这儿暂不考虑脉冲的啁啾效应。由于二次谐波强度相关信号的大小 I_2 正比于基波强度的平方, 即

$$I_2 \propto [(E_1 + E_2)(E_1^* + E_2^*)]^2 \quad (2)$$

而光电倍增管所接收到的只是一个相对于 τ 值和 ω 较慢的时间积分信号 $S(\tau)$, 且

中国工程物理研究院自然科学基金资助课题。

1994 年 6 月 28 日收到来稿, 1995 年 1 月 20 日收到修改稿。

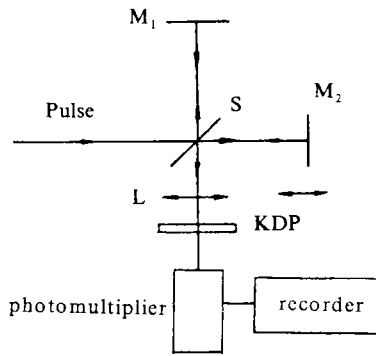


Fig.1 Schematic of 3:1 curve experimental setup

图1 3:1 曲线实验装置示意图

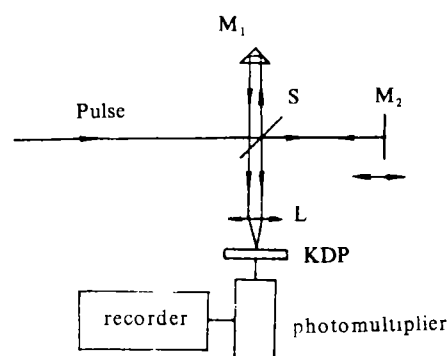


Fig.2 Schematic of background-free curve experimental setup

图2 无背景曲线实验装置示意图

$$\begin{aligned}
 S(\tau) &= \alpha_0 \int dt [(E_1 + E_2)(E_1^* + E_2^*)]^2 \\
 &= \alpha_0 \int dt \{ \varepsilon^4(t) + \varepsilon^4(t-\tau) + 2\varepsilon^2(t)\varepsilon^2(t-\tau) + 4\varepsilon(t)\varepsilon(t-\tau)[\varepsilon^2(t) \\
 &\quad + \varepsilon^2(t-\tau)]\cos(\theta_1 - \theta_2) + 4\varepsilon^2(t)\varepsilon^2(t-\tau)\cos^2(\theta_1 - \theta_2) \}
 \end{aligned} \quad (3)$$

若电机的转速较快, 致使信号接收元件对上式中的二次谐波信号不能作出瞬时响应, 则对其中的所有余弦项求平均的结果为零, 于是不难推知

$$\langle S(\tau) \rangle = \alpha_0 \int dt [\varepsilon^4(t) + \varepsilon^4(t-\tau) + 4\varepsilon^2(t)\varepsilon^2(t-\tau)] \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \text{当 } \tau = 0 \text{ 时, } \quad \langle S(0) \rangle &= 6\alpha_0 \int \varepsilon^4(t) dt \\
 \text{当 } \tau > T(\text{脉宽}) \text{ 时, } \quad \langle S(\tau) \rangle &= 2\alpha_0 \int \varepsilon^4(t) dt
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

于是当 τ 变化时(即两束光相对延迟增大), 利用函数记录仪所获得强度相关曲线也相应改变, 其峰值与背景之比为 3:1, 所以这里的相关曲线亦称为 3:1 曲线, 而激光脉宽就可由这一曲线测出。

再看图 2, 两束光分束后非共线传播, 经透镜聚焦后在晶体中形成一夹角, 当夹角与晶体取向合适时会产生二次谐波信号, 其大小与两光束光强之积成正比, 即

$$\langle S(\tau) \rangle \propto \beta_0 \int \varepsilon^2(t)\varepsilon^2(t-\tau)dt \quad (6)$$

显然, 当 τ 大于脉宽时 $\langle S(\tau) \rangle = 0$, 其中 β_0 为一常数, 故此时测得的曲线的背景信号为零, 称为无背景相关函数曲线。

3 实验测量

根据强度相关函数理论可知, 自相关曲线的半高宽(FWHM)值与待测光脉冲实际脉宽之间有确定的对应关系, 对于通常的 sech^2 光脉冲, 转换因子为 1.543。

实验装置仍如图 1 和图 2 (对无背景情况)所示, 其中 M_1 为固定全反镜, M_2 为可

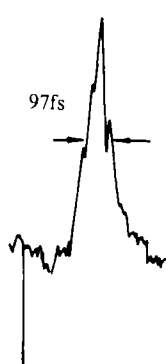


Fig.3 3:1 autocorrelation curve

图 3 3:1 自相关曲线

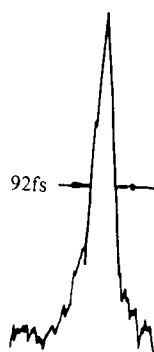


Fig.4 background-free autocorrelation curve

图 4 无背景自相关曲线

正反向平动的全反镜, 并由电机齿轮及丝杆进行驱动。S 为 50% 分光镜, L 是焦距为 3cm 的聚焦透镜。倍频晶体采用 0.5mm 厚的 KDP, I 类匹配; 二次谐波信号经滤光片 (图中未画出) 后由光电倍增管接收和放大, 并驱动函数记录仪以获取相关曲线。实验中我们用一台 CPM 飞秒染料激光器作为光源, 输出光脉宽为几十至几百飞秒, 图 3 是我们测得的一条曲线, 根据相关仪主丝杆及函数记录仪走速可求出该曲线对应的光脉宽为 97fs。

我们还用无背景方法进行了实验测量, 具体装置如图 2 所示, 与图 1 不同之处是用一直角棱镜代替了 M_1 平面反射镜, 使 M_1 的反射光平移, 达到非共线平行的目的 (晶体为非共线 I 类匹配)。图 4 是用这种方法所测的一条相关曲线, 脉宽为 92fs。据此进行比较可知, 用两种不同方法所测的结果是一致的, 考虑到光源本身的稳定 (约 3%) 以及机械运动和振动等因素引起的误差, 我们的测量结果是令人满意的, 用相关法测量飞秒光脉宽是可靠的。

参考文献

1. Knox W H et al. *Appl Phys Lett*, 1985, 46(12): 1120 ~ 1121
2. Diels J C et al. *Proceedings of the First International Conference on Picosecond Phenomena*. Springer-Verlag, Berlin, 1978: 117

MEASUREMENT OF THE ULTRASHORT LASER PULSEWIDTH

Wen Guoqing, Zhang Shukui, Zhou Pizhang
Chen ji, Wu Yuting, and Man Yongzai

Southwest Institute of Nuclear Phys. & Chem., Chengdu, 610003

In the study of the ultrashort-pulse, the measurement of the pulse duration is very important. This paper describes an optical autocorrelator capable of measuring fs ultrashort

laser pulse by using second-harmonic correlation technique. After an ultrashort laser pulse beam is split into two with properly designed beam-splitting device, one beam passes through the optical delay components and enters into crystal while the other enters into crystal directly. The beams correlate in the crystal and produce the second-harmonic signal, which is received by photomultiplier tube and recorded by recorder. Because one light beam is continuously delayed, we can get the pulse width of the correlation signal and the pulse width through multiplying a certain-factor for a given pulse shape. In our paper, we use and compare two different methods. Presuming a sech^2 pulse shape we get the results of 97fs through the 3:1 autocorrelation curve and 92fs through the background-free respectively, which are in good agreement as expected. Our experimental results clearly indicated the usefulness and reliability of the autocorrelation measurement for fs laser pulse width determination.