

# IBM PC/XT 计算机控制精密光学自相关器 和实验数据采集与处理自动化系统\*

欧阳忠 彭文基 李庆行 余振新

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室, 广州, 510275)

**摘要:** 本文介绍一种用于皮秒和飞秒级超短激光脉冲和激光与物质相互作用的超快过程测量的 IBM PC/XT 计算机控制精密光学自相关器和实验数据采集与处理自动化系统。该系统既可进行自相关测量, 又可进行干涉强度自相关测量。仪器的时间分辨率达 0.3fs。

**关键词:** 计算机控制 干涉自相关测量 飞秒激光脉冲

## An IBM PC/XT computer controlled autocorrelator and datum acquisition processing system

Ouyang Zhong, Peng Wenji, Li Qingxing, Yu Zhenxin

(State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy, Zhongshan University)

**Abstract:** In this paper, an IBM PC/XT computer controlled autocorrelator and datum acquisition processing system for measurements of picosecond and femtosecond pulses and dynamic processes is described. This system is applied not only to intensity autocorrelation measurement, but also to interferometric autocorrelation measurement. The temporal resolution of this system is about 0.3 fs and the sensitivity is in the scale of microvoltages.

**Key words:** IBM computer control interferometric autocorrelation measurement femtosecond laser pulses

## 一、引言

最近十几年来,随着超短激光脉冲技术的发展,超短激光脉冲和超快现象的测量技术也取得了惊人的进展。同步扫描条纹照相机(C1587+M1954, Hamamatsu)的时间分辨率达 2ps 左右,虽然条纹照相机具有线性直接测量的优点,但是由于它的价格昂贵,另外它的时间分辨率

\* 国家自然科学基金及广东省青年科学基金资助项目。

也远不能满足几十飞秒的激光脉冲及时间弛豫过程的测量,这时一般需借助于光学相关测量技术。根据目前测量技术状况和为了满足我们的研究工作,我们研制成功了 IBM PC/XT 计算机控制的具有 0.3fs 时间分辨率的精密光学自相关器和实验数据采集与处理自动化系统,它既可进行强度自相关测量又能进行干涉自相关测量,具有精度高、结构简单、调整方便、造价低及数据处理方便等特点,是飞秒激光研究和飞秒超快过程测量不可缺少的工具。

## 二、原理和设计

图 1 是该装置用于测量脉宽时的示意图。整套装置布置在一个防振光学平台上。由对撞脉冲锁模环形染料激光系统(CPM)产生的飞秒激光脉冲序列(约 100MHz 重复率),经半透半反镜分成强度相等的两束激光,一束经两个成 90 度角布置平面全反镜组  $M_1$  反射,另一束经可变相对延迟的两个成 90 度角布置平面全反镜组  $M_2$  反射,由于可动臂的单向移动,就形成了一个脉冲序列对另一个脉冲序列的扫描。平行传播的两个脉冲序列经透镜 L 聚焦于倍频晶体 KDP 上,用滤光片 F 将基频光滤掉后,最后用 R928 型光电倍增管将倍频光信号线性地转变为电信号。

因为相对时间延迟的不同,两束基频光在晶体内重叠程度将不同,导致倍频光场的不同,所以可从测得的倍频光场强度变化曲线的半值全宽度  $\Delta\tau$ ,从  $\Delta\tau = \Delta\tau/k$  ( $k$  是与激光脉冲形状有关的常数<sup>[1]</sup>,对于激光脉冲为双曲正割型,二阶强度自相关曲线的  $k=1.543$ ,

二阶干涉自相关曲线的  $k=1.696$ )算出脉冲的宽度  $\Delta\tau$ 。而  $\Delta\tau$  的测量精度取决于可变延迟器的移动精度。若要求  $\Delta\tau$  的测量精度达到 1fs,则延迟器的移动精度应达到  $0.15\mu\text{m}$ 。这一移动精度更难以靠手工操作达到。我们采用 IBM PC/XT 计算机控制数控 36BF003-I 型步进电动机(以下简称电机)驱动 Michelson 干涉仪 WSM-100 型高精密度丝杆(以下简称丝杆)导轨制成精密光学延迟器,实现这一精细操作。电机的频率连续可调范围为  $0\sim 4000\text{Hz}$ ,在三相六拍 1-2 分配的工作方式下,步距角为  $1.5^\circ/\text{步}$ 。由计算机发出的驱动电脉冲输入给电机驱动电源(BQD1-T 型)的三分频器,再经功率放大驱动电机。此驱动电脉冲的频率可根据电机的驱动力矩和测量时间常数来选定,在快速测量时,频率可大些,电机则转快些;而在慢速测量(如要求较精确地测量干涉自相关曲线)中,驱动频率应尽量慢,以利于计算机进行尽量多数据采集。步进电机转一圈(360度),导轨前进  $0.01\text{mm}$ 。故在一个电脉冲驱动下电机每转进一步,丝杆导轨平均前进的距离为:  $0.01\text{mm} \times 1.5/360 = 0.042\mu\text{m}$ ,在空气中相当于光学延迟量约为:  $0.28\text{fs}$ 。以这样的精度是足以用相干自相关的方法测量飞秒脉冲的时间宽度。

实验中光学延时装置精密导轨的移动方向,移动的快慢,实验数据的采集与处理均是由 IBM PC/XT 机完成的。光学延迟器的扫描范围可以根据实验需要来设定。选择计算机显示器的分辨率水平方向为 640 点,一般的激光脉冲的二次谐波强度自相关测量曲线取 640 个数据点则足够了。假定要获得  $2.133\text{ps}$  的相对时间延迟,电机则需步进 7680 步,这样用程序控制计

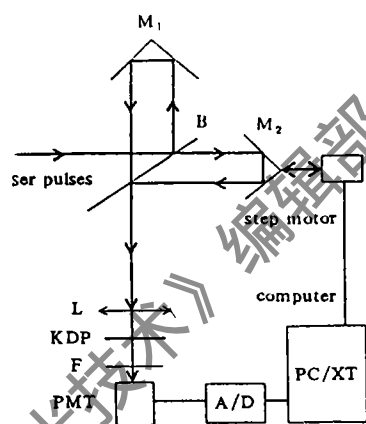


Fig. 1 Sketch of the second order auto-correlation measurement

计算机每发出 12 个驱动电脉冲(即步进电机转动 12 步)后,便稍作停顿,以执行数据采集(至少重复取 10 次数据采集取平均后作为一个数据点,以减小光源起伏等因素影响所带来的误差),计算机显示器同步显示所采集到的数据。取完数据后再发出下一列 12 个驱动电脉冲,再取下一个数据点,如此重复,直到 640 个数据点取完,这时计算机屏幕上将显示一条完整的测试曲线,整个测试过程约需 30s。在进行干涉自相关测量时,则要取尽量多的数据点来反映测量结果,这样步进电机每转一步便取一个数据,为了减小测量系统受振动的影响,计算机每向步进电机发一个驱动脉冲后,用程序加以控制,等一段时间后,再进行数据采集,以进一步减小电机的振动对丝杆的影响,而且激光器与测量系统分别放置在不同的光学平台上,同样也要重复多次数据采集取平均后作为一个数据点,一般采取单向扫描的方式进行实验测量,以减小螺距差对结果的影响。

计算机获取数据是靠 A/D 模数转换器实现的,采用 ADA-12-16 型 12 位模数(A/D)转换器,它的输入电压范围为:单极性时,0~+10V;双极性时,-5~+5V,可响应的最小电压量为 2.44mV。若让信号在进入 A/D 转换器之前先经锁相放大,则可大大降低背景噪音,探测灵敏度可达微伏量级,这对于探测一些信号较弱的高阶非线性光学过程是非常适用的。

计算机与外部设备的联系是通过接口电路进行的,在接口电路中要有输入输出数据的锁存器与缓冲器,要有状态和控制命令的寄存器,在我们的接口电路中,所选用的是可编程的通用较快速输入输出并行接口芯片 8255A-5,IBM 计算机 I/O 卡与 A/D 转换器(ADC80-12 芯片)及其他外围接口(示意图略)。控制程序采用 Quick-Basic 和汇编语言混合编程的方法,其中运行速度要求比较高的部分;如步进电动机的控制,A/D 转换,采集到的数据存盘,以及作图显示等均采用汇编语言,以加快速度,提高效率。主程序则采用 Quick-Basic 与汇编语言接口,以便于各种参数的传递,提高系统的灵活性。一旦调整好光路,即可由计算机键盘控制,实现实验测量的自动化。

### 三、结果和讨论

应用这套高时间分辨率的测量系统,我们测量了 CPM 激光系统输出飞秒脉冲的强度自

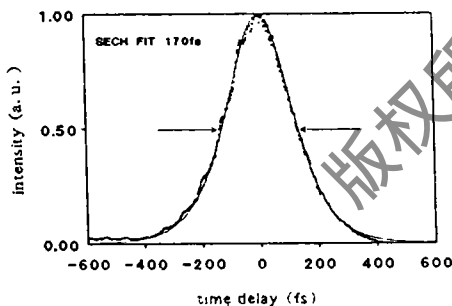


Fig. 2 The intensity autocorrelation curve of laser pulses from CPM laser system. The solid line is a calculated autocorrelation curve using Sech temporal pulse shape

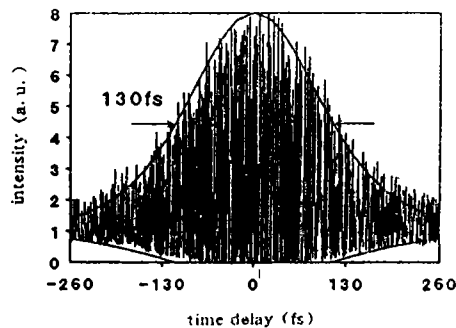


Fig. 3 The interferometric autocorrelation curve of laser pulses from CPM laser system. The up- and down-envelopes are calculated autocorrelation curve using Sech temporal pulse shape

相关曲线(见图 2),其半值全宽度  $\Delta\tau = 262\text{fs}$ ,由  $\Delta t = \Delta\tau/k$ ,可算得激光脉冲的时间宽度  $\Delta t = 170\text{fs}$ (假设激光脉冲的时间轮廓是双曲正割型),图中的点是计算机所采集的实验数据点;实

线是用双曲正割函数所进行的拟合曲线,结果表明双曲正割型函数可较好地描述 CPM 系统输出激光脉冲。让这套测量系统运行在其最小的分辨精度上,则能测到飞秒激光脉冲的干涉自相关曲线,如图 3 所示,其上、下包络是用双曲正割函数所拟合的,  $\Delta\tau=220\text{fs}$ ,可算得激光脉冲的时间宽度  $\Delta t=130\text{fs}$ 。图 4 是图 3 所示曲线的部分精细结构,图中的点是实验数据;而实线和点划线分别是用干涉项拟合的结果(详细的分析见文献[2])。由图可见,每个干涉条纹之间可取到 7 至 8 个数据点,一个干涉条纹表示两束光的光程差为一个波长,对 Rh6G 染料为激光工作物质,输出激光的中心波长在 600nm 左右,相应于两个干涉条纹的时间延迟约 2fs,则反映出每个测量点之间的时延约为 0.3fs,这就是这套测量装置所能达到的时间分辨率。

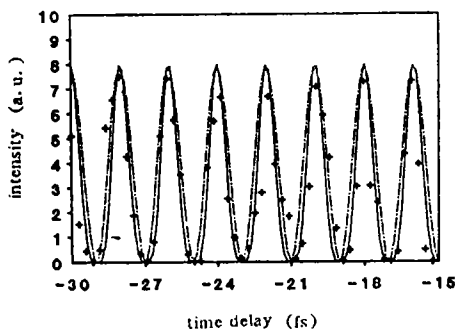


Fig. 4 A part of fine structure from Fig. 3

这套装置还可以用于测定物质的瞬态饱和吸收光谱、瞬态反射光谱、时间分辨荧光上转换光谱和某些非线性光学参量等。

感谢李伟良和丘志仁博士为本工作提供稳定的 CPM 飞秒脉冲激光光源。

参 考 文 献

- 1 Diels J C, Fontaine J J, McMichael I C *et al.* Appl Opt, 1985;24:1270~1282
- 2 Ouyang Zhong, Peng Wenji, Li Weiliang *et al.* SPIE Proc, 1994;2116:22

作者简介:欧阳忠,女,1968年11月出生。硕士。从事超短脉冲测量技术及其应用的研究。目前在美国 Florida 州立大学工作。

彭文基,男,1963年8月出生。博士,讲师。从事激光光谱学和时间分辨激光光谱及其在复杂分子受激过程的应用等研究工作。

李庆行,男,1937年8月出生。教授,博士生导师,副所长。从事时间分辨激光光谱学及非线性光学等教学和科研工作。

余振新,男,1938年11月出生。教授,博士生导师,实验室主任,所长。从事激光物理,超短脉冲激光与时间分辨光谱学及其应用等科研和教学工作。

收稿日期:1993-09-13 收到修改稿日期:1994-04-18



《国外激光》从 1995 年起更名为

《 激 光 与 光 电 子 学 进 展 》