

10-13

第4卷第5期

光学 精密工程

Vol. 4, No. 5

1996年10月

OPTICS AND PRECISION ENGINEERING

October, 1996

# 超快飞秒脉冲激光测量技术研究

吴建光 张正泉

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

TN241

**A** 摘要 本论文主要从事有关飞秒超短脉冲测量的研究工作。对激光超短脉冲的脉宽测量、脉冲重现及短脉冲固体激光器等研究领域作了比较详细全面的调研。研制了一台能测量超短脉冲宽度的转镜式自相关仪,它具有测量范围宽、扫描线性好、使用方便、分辨率高等特性。利用该仪器已测到接近 20 fs 的钛宝石激光超短脉冲。还进行了相关短脉冲固体激光器的研制工作。

关键词:超短脉冲测量;自相关仪;飞秒激光脉冲;自锁模激光器

在过去将近三十年来,特别是近几年来随着宽带可调谐固体激光器的出现,超短激光脉冲的产生与应用得到了巨大发展。在超短激光脉冲研究中,超快飞秒脉冲激光测量技术研究是非常重要的部分。目前在飞秒激光测量技术中,利用二次谐波自相关技术测量超短脉冲是最主要的一种测试手段。针对该方法仅能测出脉冲宽度并且必须假设脉冲形状缺点,一些作者想出了一些能同时观测脉冲振幅与相位分布的方法(即脉冲重现),并且设计了相应装置。Diels<sup>[1]</sup>等首先进行了这方面研究。

## 1 超快飞秒激光脉冲测量

### 1.1 自相关仪的设计与脉宽测量

超短激光脉冲宽度测量最基本的方法是二次谐波相关法(SHC法)。它的基本原理是:将待测光脉冲分成两束场强相同的光脉冲,分别经过不同的光程后进入非线性晶体,两脉冲在晶体内相互作用产生二次谐波相关信号,该信号由光电倍增管或 CCD 接收后输出到示波器上,然后由示波器上的相关信号脉宽反推出待测脉冲宽度。根据该原理制作的仪器称为自相关仪。

作者在调研了大量文献、综合各种脉宽测量方法之长处的基础上<sup>[2]</sup>,研制了一台转镜式自相关仪,用于测量超短激光脉冲的宽度。本论文设计的自相关仪的基本光路如图 1 所示,它类似于一个迈克尔逊干涉仪。待测光脉冲经过分束镜将光脉冲分成两束强度相同的光脉冲,分别通过不同的光程后进入非线性晶体,两脉冲在晶体内相互作用产生二次谐波相关信号。其中一路光程是不变的,而另一路中由于全反镜  $M_3$ 、 $M_4$  是装在一个由电机驱动的转镜板上,随着电机的转动,其光程是随着时间变化的。

收稿日期:1996年8月1日

在我们的自相关仪中,全反镜  $M_3$ 、 $M_5$  的垂直距离  $h = 54.5 \text{ mm}$ ,  $M_3$ 、 $M_5$  有效扫描直径为  $d = 25 \text{ mm}$ 。为触发示波器并方便观测谐波信号,在转镜处安置有自行设计的时间可延迟触发器。延迟时间从  $100 \text{ ns} \sim 1 \text{ ms}$  连续可调,触发脉冲高度为  $4 \text{ V}$ 。我们设计这台转镜式自相关仪,主要用来测量高重复频率飞秒钛宝石激光脉冲宽度。由于是测量超短光脉冲,光脉冲经过晶体或玻璃会引起色散而导致光脉冲展宽。因此在设计时,分束镜、倍频晶体、透镜都应该尽可能地薄,以减少色散。我们使用了二片 LBO 晶体,晶体被切割成满足 I 类相位匹配条件(激光垂直偏振),分别用来测量中心波长  $800 \text{ nm}$  和  $1.06 \mu\text{m}$  的激光脉冲,晶体厚度分别为  $1.0 \text{ mm}$  和  $0.1 \text{ mm}$ 。透镜中心厚度为  $2.3 \text{ mm}$ 、直径  $16 \text{ mm}$ 、焦距  $30 \text{ mm}$ 。其它的平面全反镜镀膜,平面全反镜直径均为  $25 \text{ mm}$ 。光电倍增管光谱响应范围为  $300 \text{ nm} - 670 \text{ nm}$ ,光电倍增管采用去耦电容的电阻分压电路。

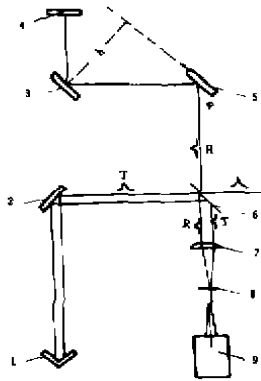


图1 自相关仪的光路示意图。

1-5 为全反镜  $M_1$  到  $M_5$ , 6:分束镜, 7:透镜, 8:倍频晶体 LBO, 9:光电倍增管

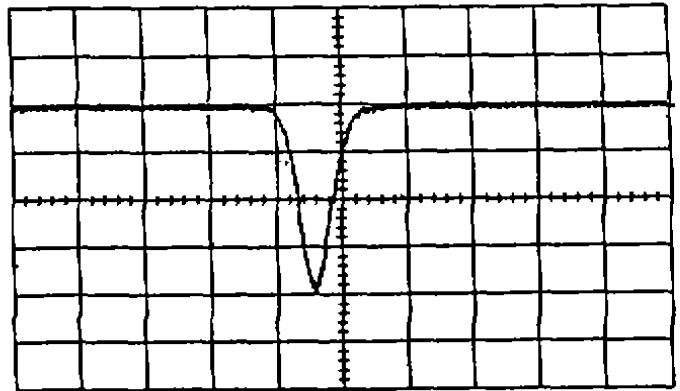


图2 24.7 fs 脉冲相关曲线 (14.3 fs/div)

利用该自相关仪,对几台进口的和自己研制的飞秒自锁模激光器进行了测试,获得了比较满意的结果。我们对自相关仪进行了定标。定标后与进口的自相关仪进行了比较,发现测量误差在  $2 \text{ fs}$  左右。我们用此自相关仪在自己研制的 Ti:S 激光器上已测到  $24.7 \text{ fs}$  超短脉冲(见图2),其光谱带宽为  $34 \text{ nm}$ (如图3)。如果仔细调节激光器,可望测到更窄的脉冲。我们还将对该自相关仪作进一步的改进,减小色散,以此希望能测出更短的脉冲。

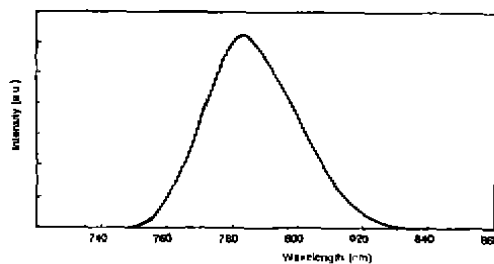


图3 光谱曲线

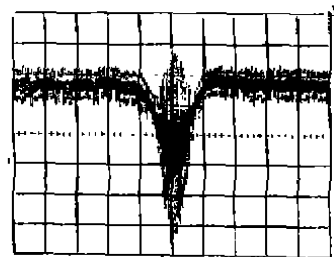


图4 干涉条纹可见相关曲线

利用该自相关仪,还可测量出如图 4 所示的干涉条纹可见的二次谐波相关曲线,从该曲线中可以得到很多有关脉冲形状的相位的信息。如果再测量出脉冲的一阶干涉信号,就可利用 Naganuma 等人<sup>[3]</sup>所论述的方法可重现出脉冲形状,这是非常有意思的。

### 1.2 自相关仪小结

本论文制作的自相关仪主要有以下优点:

- 1) 整体设计合理,全部组件构成一体化的测量仪,结构简单而紧凑。使用方便,可重复性好,可用于超短脉冲激光器的实时检测。
- 2) 抗震,抗电磁波、杂散光(如照明灯光等)的能力强。
- 3) 由于采用了转镜,其扫描范围大、测量范围广,可对脉宽为几十飞秒到 100 ps 光脉冲的各种超短激光器进行测量。
- 4) 测量精度高,可达到 1 fs 以下。
- 5) 仪器色散较小,可精确测量几十飞秒光脉冲。
- 6) 成本低,该仪器总共化了不到二万元,而国外同类仪器价格在一万美元以上。

## 2 短脉冲固体激光器

作者还进行了有关超短脉冲固体激光器的研究工作。

参与了飞秒自锁模钛宝石激光器的研制。利用激光束传输的 ABCD 定律,对钛宝石激光器四镜折叠腔的参数进行了计算,在该计算值的指导下,得到了较高效率的连续钛宝石激光输出。我们研制了一台自锁模 Ti:S 激光器,采用四镜折叠腔。在 Ar<sup>+</sup>激光 4.0 W 全线泵浦下,获得了 24.7 fs 的稳定自锁模脉冲输出,光谱带宽(PWHM)为 34 nm(见图 2 和图 3),中心波长在 803 nm。此时带宽时间积为 0.391,接近 Scch<sup>2</sup> 的变换极限 0.315。

还进行了闪光灯泵浦掺碲氟化铝铍锂(Cr<sup>3+</sup>;LiSrAlF<sub>6</sub>,简称 Cr:LiSAF)激光器研究,Cr:LiSAF 激光器是一种新型近红外宽带可调谐激光器。1989 年美国 Lawrence Livermore 国家实验室首次报导<sup>[4]</sup>我们得到了该激光器的输出光脉冲能量相对输入脉冲能量曲线,当泵浦能量为 138 J 时,输出脉冲能量 432 J,输出光脉冲的中心波长是 843 nm。得到该激光器的调谐范围为 711.4~900 nm(上限受我们的单色仪测量范围的限制)。

这些有关激光器的工作是小型化超短超强激光系统研制工作的一部分。由于脉冲测量技术与该激光系统研制工作互不可分,从事有关这些激光器的工作也有助于设计一个好的自相关仪。

### 参 考 文 献

- [1]J. -C. Diels, J. J. Fontaine, I. C. McMichael, and F. Simoni, Appl. Opt., 1985, 24(9), 1270
- [2]Z. A. Yasa and N. M. Amer, Opt. Comm., 1981, 36(5), 406
- [3]K. Naganuma, K. Mogi and H. Yamada, IEEE J. Quantum Electron., 1989, 25(16), 1225
- [4]S. A. Payne, M. C. Richardson, Y. F. Chen, and B. H. Chai, IEEE J. Quantum Electron., 1994, 30(5), 1259

## Ultrafast Femtosecond Pulses Laser Measurement Technolgy

Wu Jianguang, Zhang Zhengquan

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechnics of China, Shanghai 201800*)

### Abstract

Femtosecond laser pulse measurement techniques research were done, which is very important work in this thesis. Ultrashort pulse duration measurement, pulse reconstruction and short pulse solid lasers were researched by the author. A rotating-mirrors autocorrelator to measure femtosecond pulses was designed and manufactured. It has many advantages, such as simple and quick adjustment, high resolution, wide measuring range, etc. Nearing to 20 fs output from our femtosecond Ti:Sapphire laser has been measured with the autocorrelator. Some short pulse solid laser works were also done in the thesis.

**Key words:** Ultrashort pulse measurement, Autocorrelators, Femtosecond laser pulses, Auto-mode-locked lasers

**吴建光** 男, 1971年1月生, 1993年7月南京大学物理系毕业, 从1992年9月至今在中国科学院上海光学精密机械研究所攻读硕士学位, 主要从事超短脉冲测量及固体激光器等研究工作。