

可测量 3:1 和 8:1 相关曲线 的光学相关器

龚正烈 纪国勤 王清月 肖桂香
(天津大学精仪系)

提 要

本文对 Diels 型光学相关器做了重要改进。提出临界延迟速度概念,合理地设计了延迟系统,仅靠改变电机电压即可获得强度和相位相关曲线。指出相位相关曲线携带了脉冲宽度的信息,并预期利用该曲线可更精确地测得脉宽。

关键词: 光学相关器; 相位相关; 临界延迟速度。

一、自棱镜调整法

实践表明,二次谐波相关技术是测量超短光脉冲行之有效的方法,即便对脉冲锁模激光也是如此,可以说对碰撞锁模所产生的飞秒脉冲,该技术是唯一可行的方法。原因是它有很高的分辨率。通常,人们将迈克尔逊干涉仪改装成光学相关器来实现这种测量。1978年狄尔斯提出另一种光学相关器(简称狄尔斯型)^[1]。与迈克尔逊型相比,其特点是:相关器主体由棱镜组合而成;结构紧凑稳定;可以置于一密闭的壳体内,通过气压的变化实现波长量级的延迟;利用受抑内全反射分光,分光比可通过改变气隙的厚度来得到调整。

为了实现超短光脉冲相关测量装置的仪器化,狄尔斯相关器结构是值得采纳的一种方案。但是,该结构比较复杂,光学加工的精度要求很高(角、塔差在几秒内),而且有三对棱镜

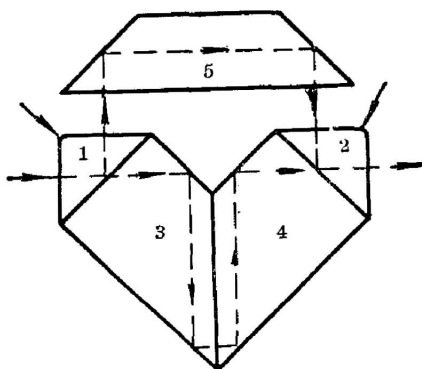


Fig. 1 Five-prism structure

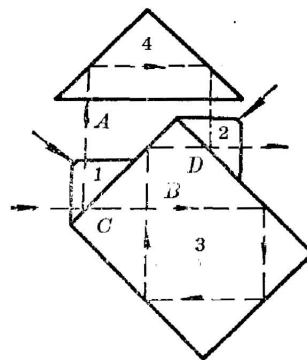


Fig. 2 Four-prism structure

面需要在组合时光胶; 为了保证两相干光束的充分共线, 需要外加一适当角度的楔形板以补偿加工和安装所造成的偏差。

我们对狄尔斯相关器提出两个改进方案, 分别示于图 1 和图 2。以图 2 为例说明其工作原理如下: 待测光束在棱镜 1 和 3 交界面 O 处由受抑全反射分成均等的 A 、 B 两束。反射光 A 经棱镜 4 两次全反射, 从棱镜 2 和 3 的交界面 d 反射出去。透射光 B 在棱镜 3 中经四次全反射从 d 面透射出去。两光束的最后共线 (或平行线) 可以转动棱镜 1 和 2 (在狄尔斯的方案中这两个棱镜是不能转动的), 再配合延迟棱镜 4 的调整; 我们将这种方法称为“自棱镜调整法”, 以区别于楔形板补偿法。当然, 如果辅以楔形板会使调整更为方便。此时对楔形板的角度的要求并不严格, 只要能两光束所成的平面转到铅直方向便可以了。

可以看出, 图 2 所示的方案比狄尔斯结构有较大的简化: 由七块棱镜减少至四块, 由三对光胶面减至零对。无疑, 这给加工和总体装调带来方便。此外, “自棱镜调整法”的提出不仅使光路调整变得容易, 而且可以适当降低光学加工精度的要求。

延迟棱镜 4 的运动由精密丝杠、导轨、电机及变速系统执行。

本仪器的核心部分光学系统的体积仅为 $60 \times 50 \times 15 \text{ mm}^3$ 。整个装置置于密闭的壳体内。利用安装在相关器上面的微型真空截门可以将壳体内抽到一定的真空度以实现波长量级的微延迟, 或充入一定压强的某种气体以进行超短脉冲的应用研究; 能做到这一点的原因是两相关光束中的一束完全经过玻璃, 另一束却通过一定厚度的气体层。

用该相关器和“碰撞锁模环形染料激光器”(科学院科学基金项目) 鉴定会测试组所用的相关器同时对同一激光输出的脉宽进行测量, 所得结果彼此仅相差百分之二: 前者为 60.3 fs (图 3), 后者为 58.8 fs ; 这个差值主要由读数误差所引起。这两台相关器的玻璃厚度相差约 40 mm , 可见上述测量结果与脉冲通过色散介质被加宽的理论有出入。究竟色散介质对 fs 级光脉冲的相关测量有何影响, 此问题正在研究中。

本相关器只需改变电机电压就可测得强度相关曲线和相位相关曲线, 后者携带了比强度相关曲线更多的脉冲信息。

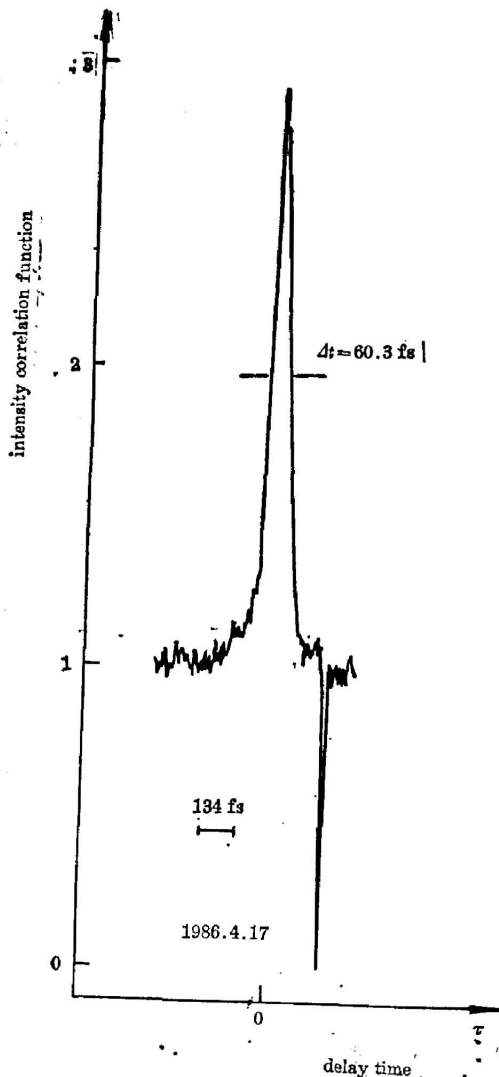


Fig. 3 Curve of intensity correlation

二 3:1 和 8:1 相关曲线

设入射激光脉冲被分光器分成强度相等的两束光 I_1 和 I_2 , 相应的瞬时电场在倍频晶体看来为

$$\begin{cases} E_1(t) = \varepsilon(t) \cos \omega t, \\ E_2(t) = \varepsilon(t+\tau) \cos \omega(t+\tau), \end{cases} \quad (1)$$

式中 τ 为两脉冲的相对延迟时间, 这里暂不考虑脉冲的啁啾问题。由光电倍增管所接收到的二次谐波相关信号的强度是

$$\begin{aligned} \langle I(t) \rangle = & \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \varepsilon^4(t) + \varepsilon^4(t+\tau) + 4\varepsilon^2(t) \varepsilon^2(t+\tau) + 2\varepsilon^2(t) \varepsilon^2(t+\tau) \cos 2\omega t \\ & + 4\varepsilon(t) \varepsilon(t+\tau) [\varepsilon^2(t) + \varepsilon^2(t+\tau)] \cos \omega t \} dt. \end{aligned} \quad (2)$$

初看起来, 积分变量为 t , 而 τ 只是作为参变量出现, $\cos \omega \tau$ 和 $\cos 2\omega \tau$ 可以移出积分号外。但在实际测量过程中, τ 在不停地变化。一般地说, 在通常所能做到的延迟速度下, 光电倍增管是能够响应 τ 的变化的。也就是说, $\langle I(\tau) \rangle$ 随 τ 的周期变化是可以由光电倍增管接收下来。但是由于函数记录仪的记录笔是由机械传动装置来驱动的, 所以它对余弦项只能是一个平均的响应。从数学上看, 足应对余弦项求平均; 其结果是使这些项为零。于是, 由(2)式得通常用来测量脉宽的强度相关函数 $\langle I(\tau) \rangle = 1 + 2G(\tau)$, 相应曲线的峰与背景比为 3:1; 所以我们这里也将强度相关曲线简称为 3:1 曲线。

如果延迟速度足够缓慢, 使得 $\langle I(\tau) \rangle$ 的变化周期与函数记录仪记录笔的上升时间相匹配, 则(2)式中所有的项均可记录下来。这就是所谓的相位相关曲线。用倍角公式将(2)式中的 $\cos 2\omega \tau$ 展开, 可以看到, $\langle I(t) \rangle$ 的最大值(即 $\langle I(0) \rangle$)与背景比为 8:1 (所以我们将相位相关曲线简称为 8:1 曲线); 而 $\langle I(\tau) \rangle$ 的最小值接近于零。

进行相位相关测量的关键是充分的共线调整和足够缓慢的延迟。关于后一点, 国外用一种特殊的电机传动系统来实现, 其输出轴的转速为每小时 1 圈。显然用这样的速度进行 3:1 曲线的测量是不可能的。我们经过分析发现, 在两种曲线之间存在一个临界延迟速度; 大于此速度, 有利于 3:1 曲线的测量, 小于此速度, 有利于 8:1 曲线的测量。实践证明, 在临界速度两边适当地拉开延迟速度的差距(约七、八十倍), 在不更换任何零件的情况下用同一相关器, 即可实现两种曲线的测量。当然, 最简便的办法是用直流力矩电机作驱动源。

3:1 曲线和 8:1 曲线是两种截然不同的曲线, 但两者有联系, 可以说, 前者是后者的平

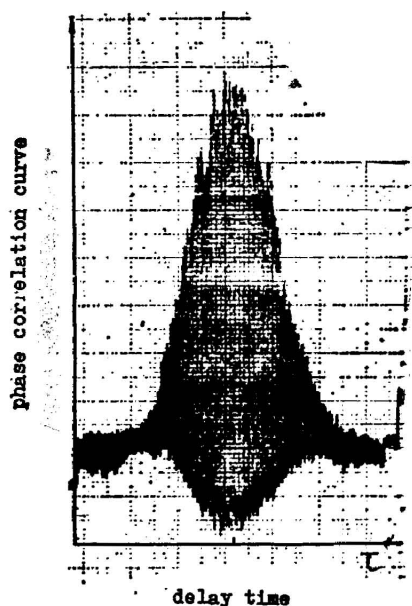


Fig. 4 Curve of phase correlation

均结果。由 3:1 曲线可以求出脉宽;由 8:1 曲线可以了解脉冲的稳定性、频率调制、相位等。我们发现, 8:1 曲线也带有脉宽的信息, 而且由此信息得到的脉冲宽度比用 3:1 曲线有更高的精度。这一发现将是高分辨相关测量的理论依据之一(将另文报道)。

参 考 文 献

- [1] J-O Diels *et al.*; *Optics Comm.*, 1978, **25**, No. 1, 93.

A new correlator capable of measuring 3:1 and 8:1 correlation curves

GONG ZHENGLIE, JI GUOJUN, WANG QINGYUE AND XIAO GUIXIANG
(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University)

(Received 18 June 1986; revised 11 November 1986)

Abstract

We have improved the correlator developed by J. -O. Diels. In the new type it is consisted of only four prisms; and hence three pairs of glued optical surfaces become unnecessary. The angle tolerance of prisms is less than 5 second. Auto-adjustment method with prisms is presented in this papers We have designed a reasonable system for transmission in which the intensity and phase correlation curves are obtained by only changing the voltage applied on the motor.

It is worth pointing out that the phase correlation curve carries information of pulsewidth, which can be measured more accurately from the phase correlation curve.

Key Words: optical correlator; phase correlation; critical delay velocity.