

# 一个简单实用的微微秒脉冲 宽度测量装置

梁培辉 叶超 孟绍贤 张伟清 康玉英

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 被动锁模 Nd 玻璃激光器输出以非共线倍频的方式在  $\text{LiIO}_3$  内产生二次谐波,用一维二极管列阵将谐波强度的空间分布显示于通用的示波器,根据脉宽与谐波光强分布的宽度之间关系,可得出脉冲串的平均脉冲宽度。

## A simple and practical set-up for measuring the duration of single ultrashort pulses

Liang Peihui, Ye Chao, Meng Shaoxian, Zhang Weiqing, Kang Yuying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** In this paper we describe an experimental set-up in which a simple scanning photodiode array is used for display and the autocorrelation trace is shown on a conventional oscilloscope. The pulses come from a passively mode-locked Nd glass laser at  $1.06\mu\text{m}$ . After expanding and splitting, laser beams produce the noncollinear second harmonic (NSHG) in a  $\text{LiIO}_3$  crystal. According to the dependence of the duration of the fundamental frequency beam on the halfwidth of the NSHG spatial intensity distribution in our case, it has been measured that the average duration of the pulse train is  $(19 \pm 2)$  ps, a sharp peak of 0.4ps being superimposed on a broad background. This setup is of low cost and practical. Some calculations dealing with the design and operation are given.

微微秒脉冲的脉宽测量与监视是激光参数测量工作中的一个重要课题<sup>[1]</sup>。条纹照相机能直接给出脉冲的真实形状,但时间分辨本领并不高(商品产品的分辨本领最高约2微微秒)而且价格昂贵。双光子荧光法设备简便,但荧光效率较低,背景成份高,给实时测量带来较大困难。1977年有人提出并分析了利用超短脉冲在空间的自相关函数

$\langle E(x)E^*(x+\Delta x) \rangle$  测量脉宽的可能性<sup>[2]</sup>,由于使用非线性晶体产生二次谐波的转换效率比双光子荧光高得多,给测量工作带来了很大的方便,而且无背景。在[3]的工作中,使用照相法记录谐波的强度分布,不能实时测量,也不能用作监视。在[4]的工作中,作者们使用了光学多道分析仪(OMA)实现了实

收稿日期:1982年11月22日。

时测量。但是 OMA 系统的价格也昂贵，不是每个激光实验室都能装备。

本文介绍一种简易而实用的微微秒脉冲装置，分束光学系统采用 [4] 的方案而略加改进，接收显示部分则运用一维光二极管列阵和同步示波器。用这个装置我们能够实时测量零点几微微秒到二、三十微微秒的光脉冲宽度。

## 基本原理

设  $H_1$ 、 $H_2$  分别为基波与谐波强度沿  $z$  方向的空间分布的半宽度 (FWHM)，则被测基波脉冲的半宽度  $\tau$  可写作<sup>[3]</sup>：

$$\tau = \frac{\sqrt{2} H_1 H_2 \sin \frac{\phi_{in}}{2}}{\nu_0(\omega) \left[ H_1^2 - 2H_2^2 \left( 1 - n_0^2(\omega_1) \sin^2 \frac{\phi_{in}}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

其中  $\phi_{in}$  为基波光束在晶体内的夹角； $\nu_0$  为基波的寻常光的群速度。我们使用锁模激光器，输出的是 TEM<sub>00</sub> 模。虽然光束的强度起伏较大，但基模的半宽尺寸不会改变，因此并不要求对  $H_1$  和  $H_2$  作同时测量。

测量的核心是强度空间分布的显示。我们使用光二极管列阵测量光束的一维光强分布。关于用光二极管列阵测量光学与激光参量的原理和应用，我们已有介绍<sup>[5]</sup>，在此从略。

## 装 置

实验装置由三部分组成：1) 激光器和扩束望远镜，2) 非共线二次谐波产生，3) 光二极管列阵显示系统。见图 1。

### 1. 激光器

Nd 玻璃锁模激光器，用五甲川染料的二氯乙烷溶液作锁模染料 Q 开关，腔内加小孔以获得单横模。器件输出的脉冲串包含 30 ~ 40 个脉冲，总能量约 30 毫焦耳。扩束望

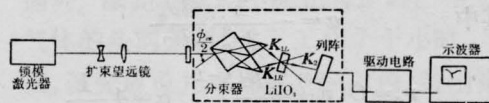


图 1 实验装置

远镜倍率  $M=3$ ，透过率 80%。

### 2. 非共线倍频

分束器用两对直角边为 6 厘米和 4 厘米的直角棱镜组合而成 (采用不等边长的直角棱镜原因在下节介绍)。大棱镜中的一块镀半反射介质膜，然后用加拿大树胶将四块棱镜胶合成一体。

倍频晶体使用非线性系数较高的 LiIO<sub>3</sub>，尺寸为 15 × 20 × 35 毫米。ooe 方式匹配。晶体光轴与晶体法线方向成 45°，满足非共线倍频位相匹配条件时，基波在晶体外的夹角为 44°40′，在晶体内  $\phi_{in} = 23.5^\circ$ 。

晶体和分束器放在一个可调整方位的平台上。

### 3. 光二极管列阵显示系统

一维二极管列阵为 EG & G 出品的 Reticon RL-1024 固体扫描器，该接收器的长度为 1 英寸，内有 1024 个单元。每单元之间距为 25 微米，单元的面积 26 微米 × 15 微米。列阵扫描的周期约 30 毫秒。

用国产 SR37 示波器 (100 兆周) 将列阵输出的，并经电流放大器放大的视频信号显示于荧光屏。

因为在分束器前已放上 1.06 微米透过的滤光片，进入接收器的主要杂光为 1.06 微米的散射光。故除了在接收器加透过 0.53 微米的滤光片外，还置上一个黑圆筒以屏蔽 1.06 微米散射光。

## 对有关设计和测量的分析讨论

### (1) 窄脉冲的被加宽

经过  $Z$  的距离，入射脉冲的宽度  $\tau_0$  就被加宽成  $\tau(Z)$ <sup>[6]</sup>：

$$\tau(Z) = 2\sqrt{\frac{1}{\alpha} + 16a^2 Z^2 \alpha^3} \quad (2)$$

其中

$$a = -\frac{1}{2\nu_g^2} \frac{d\nu_g}{dw}$$

$$\nu_g = C \left( n - \frac{\lambda dn}{d\lambda} \right)^{-1}, \quad \alpha = 4 \frac{1}{\tau_0^2}$$

$\nu_g$  为群速度。故实验中加宽引起的相对误差为:

$$\eta = \frac{\tau(Z) - \tau_0}{\tau_0} = \sqrt{1 + 16a^2 Z^2 \alpha^2} - 1 \quad (3)$$

如果加宽是个小量,可近似为:

$$\eta = 8a^2 \alpha^2 Z^2 \quad (4)$$

换言之,加宽与群速度色散量、被测脉冲宽度和作用介质长度都有平方关系。

$\text{LiIO}_3$  的数据不很充分,从 [7] 的资料,我们估计在 1.06 微米处  $a = -1.4 \times 10^{-27}$  秒<sup>2</sup>/厘米。对于  $\tau_0 = 0.3$  微微秒,  $Z = 1$  厘米,  $\eta = 3\%$ 。

### (2) 分束器的尺寸

从公式 (2) 得出,当介质有群速度色散时,窄脉冲的加宽正比于经过介质的长度。因此,合理的分束器设计应该使光程缩短。若用等宽的二对直角棱镜组成分束器,从图 2(a) 可见,有一部分材料是多余的(见阴影部分),因此,合理的设计应该是:

$$b = a \left[ 1 - \text{tg arc sin} \frac{\sin(45^\circ - \frac{\phi_{ex}}{2})}{n} \right] \quad (5)$$

其中  $a$  为入射棱镜直角边长;  $b$  为出射棱镜直角边长。如果  $a = 6$  厘米,  $n = 1.52$ ,  $\frac{\phi_{ex}}{2} = 22^\circ 22'$ , 则  $b \approx 4.4$  厘米。

在满足 (5) 式关系时,最大的输入光束的直径是:

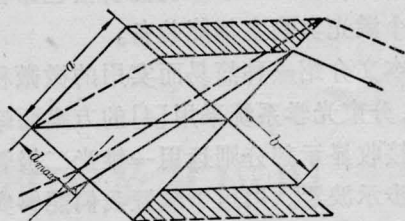
$$d_{\max} = \left[ 1 - \text{tg arc sin} \frac{\sin(45^\circ - \frac{\phi_{ex}}{2})}{n} \right]^2 a \quad (6)$$

在上述数据情况下,  $d_{\max} = 3.3$  厘米。

当使用不等尺寸的棱镜组合时,  $d_{\max}$  与长度  $b$  的关系如图 2(b) 所示。

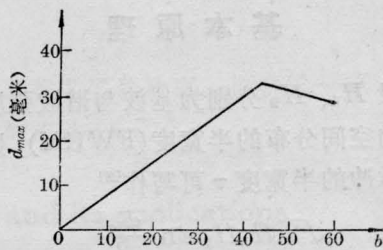
### (3) 倍频晶体的厚度

为了获得强的谐波,晶体的尺寸应该大



(a)

(a) 几何结构



(b)

(b) 两对棱镜尺寸不等时,最大输入光束直径  $d_{\max}$  与棱镜尺寸  $b$  的关系

图 2 分束器

于两束基波光在晶体内的相交部分,故晶体的厚度  $L$  应为:

$$L \geq \frac{D}{\cos\left(\frac{\phi_{ex}}{2}\right)} \text{tg arc sin} \frac{\sin \frac{\phi_{ex}}{2}}{n} \quad (7)$$

其中  $D$  为入射基波光束的直径。如果希望用线性区来测量,按 [4] 的作法,  $D \geq 3\tau_0 C$ , 则有:

$$L \geq \frac{3\tau_0 C}{\cos\left(\frac{\phi_{ex}}{2}\right)} \text{tg arc sin} \frac{\sin \frac{\phi_{ex}}{2}}{n} \quad (7')$$

若  $\tau_0 = 30$  微微秒,则  $L \geq 0.6$  厘米。

### (4) 倍频光发散的影响

如果倍频光的发散角为  $\varphi$ ,晶体与接收器的距离为  $l$ ,则在接收器处看到的光斑尺寸  $H$  有一增量  $\Delta H$ ,引起测量的相对误差:

$$\frac{d\tau}{\tau_0} = \frac{dH}{H} = \frac{\varphi \times l}{H}$$

在实验中,  $l \leq 10$  厘米,  $H \sim 0.5$  厘米,  $\varphi \approx 0.3$  毫弧度,相对误差在 1% 以内。



### (5) 接收器的位置

如果用照相底片记录强度分布,只要光束垂直进入底片即可,拍照时不必考虑底片的方位。

用一维列阵接收,则必须使列阵落在两基波光束所在的平面上,垂直于谐波光束,否则测出的结果比实际的宽度大。在这种情况下采用二维列阵接收,在相同的实验条件下二维列阵的灵敏度比一维列阵的约高50倍。但是,采用二维列阵时更要注意使它的垂直方向与谐波 $\alpha$ 方向重合,否则测量误差会很大。

顺便指出,用一个焦距10厘米的柱面镜,使 $\alpha$ 方向的光束聚于一点,落在二极管列阵上,则有可能使一维列阵的作用达到二维列阵的水平。

## 实验结果

图3(a)和(b)是实验的结果。图3(b)给出基波的空间强度分布。由此可以定出它的半宽 $H_1$ ,图3(a)是谐波的强度分布,图形由两部分组成,一个是较宽的分布,中间叠加上一个很窄的尖峰,两者的高度比很接近1:1。由此可分别定出谐波强度分布的半宽 $H_2$ 。

$H_2$ 的测量读数误差 $<0.1$ 毫米,而 $H_1$ 的误差还包括实验多次的平均起伏量,在我们的实验中, $\Delta H_1=0.2$ 毫米。显然,为了扩展测量范围而直接运用公式(1),是以降低测量精度为代价的。但从下面的计算看出,其相对误差在10%量级还是令人满意的。

按照(1)式,我们绘出了 $\text{LiIO}_3$ 为倍频晶体 $\frac{\phi_{\text{ex}}}{2}=22^\circ 20'$ 的条件下脉宽 $\tau$ 与宽度 $H_2$ 的关系,见图4。为计算误差,我们也绘出了 $H_1=(7.8\pm 0.2)$ 毫米时的 $\tau-H_2$ 曲线(图5)。

根据这些结果,可以得出测量结果为:锁

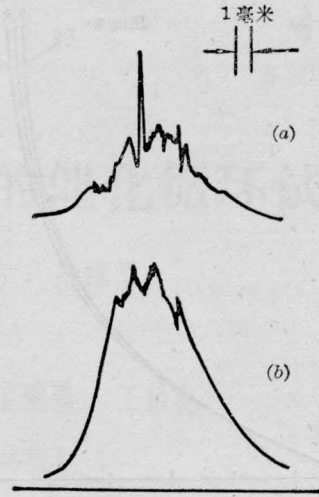


图3 实验得到的示波器轨迹

(a) 谐波强度的空间分布: (b) 基波强度的空间分布

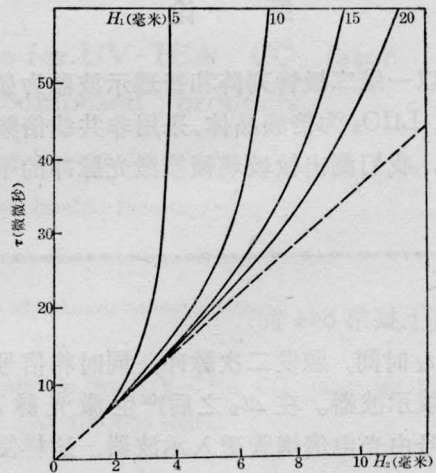


图4 基波脉宽与谐波强度分布半宽的关系

模激光串的平均脉冲宽度为 $(19\pm 2)$ 微微秒,其中包含有宽度0.4微微秒的窄脉冲亚结构。因为我们没有扣除分束器玻璃和晶体对窄脉冲的加宽,故实际上亚结构的脉宽小于0.4微微秒。

理论表明,在锁模不完全时,或在锁模系列后部,锁模脉冲会出现亚结构,相关作用的结果,亚结构窄脉冲自相关函数的峰值与宽脉冲“肩膀”的峰值之比应该为2:1<sup>[8]</sup>,这和我们的实验结果符合。

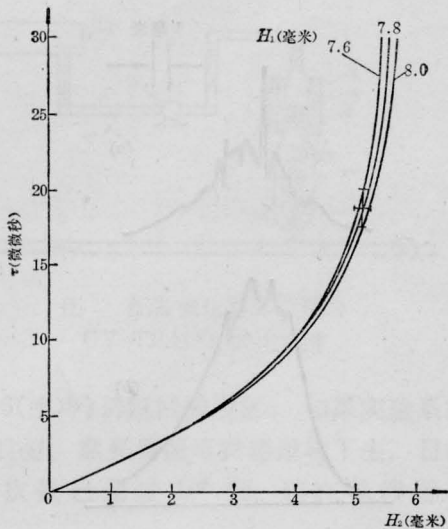


图5 空间测量误差对脉宽测试结果的影响

## 结 论

以一维二极管列阵和普通示波器为显示设备,  $\text{LiIO}_3$  为倍频晶体, 采用非共线倍频的排布, 我们测出钽玻璃锁模激光脉冲的平均

脉宽, 并清楚地显示出脉冲的亚结构, 表明这种实验装置可以测出零点几微微秒到几十微微秒的脉冲宽度。这种装置具有价格低廉、设备简单、调整方便等优点。很适宜在使用固体微微秒激光器的实验室内作实时测量和监视的常规设备。

## 参 考 文 献

- [1] D. J. Bradley; in *Ultrashort Light Pulses*, ed. by S. L. Shapiro. (Springer Verlag, 1977), p. 28.
- [2] J. Janszky *et al.*; *Optics Com.*, 1977, **23**, No. 3, 293.
- [3] R. N. Gyuzalian *et al.*; *Optics Com.*, 1979, **29**, No. 2, 239.
- [4] C. Kolmeder *et al.*; *Optics. Com.*, 1979, **30**, No. 3, 453.
- [5] 梁培辉等:《中国激光》, 1983, **10**, No. 2, 117.
- [6] A. Yariv; *Introduction to Optical Electronics*, Second Edition, 1976, p. 45.
- [7] G. Nath, S. Haussuhl; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, No. 5, 154.
- [8] H. P. Weber, H. G. Danielmeyer; *Phys. Rev.*, 1970, **A2**, No. 5, 2074.

(上接第 844 页)

之后  $t_1$  时间, 触发二次脉冲, 同时将信号送入双线示波器。在  $\Delta t_1$  之后产生激光脉冲, 光信号由光电倍增管送入示波器, 这样便可以获得激光输出时间的数据。

在  $t_1$  的触发信号也同时触发雷管, 引爆炸药, 同时在靶上装有电探针, 将靶起动的时刻也输入到示波器的另一线。从示波器上可以得到靶与激光的同步时间——激光输出时刻与靶起飞时刻的时间差。

为了使测量时靶正好落在靶前透镜的焦距上, 靶与透镜的距离大于焦距, 即留有提前量。用这种方法记录反射光束的多普勒频移量, 其测量误差主要来源于对 F-P 干涉环的判读精度。

## 小 结

运用我们研制的脉冲激光多普勒测速仪, 成功地在 250 米以外测到了配合目标的飞行速度, 速度范围在公里/秒量级, 数据稳定重复。但仍存在一些待改进的地方。激光器的同步时间与纵模数的矛盾还没有消除, 照相法记录固然有不怕电干扰的优点, 但不能做到实时测量。因此有必要改进激光器, 并考虑使用光电子学读出方法, 使用微处理机, 实现数据自动处理, 实时显示。

## 参 考 文 献

- [1] S. P. Obenschain *et al.*; *Rev. Sci. Instrum.*, 1980, **51**, No. 12, 1661.
- [2] 唐贵琛等;《激光》, 1979, **6**, No. 1, 39.
- [3] 梁培辉等;《激光》, 1979, **6**, No. 4, 40.