

解卷积法测量亚纳秒光脉冲宽度*

姜宏丽 林美荣 陈文驹**

(南开大学现代光学研究所)

提要: 提出一种使用亚纳秒响应的检测仪器测量皮秒激光脉冲, 然后通过对于测信号进行解卷积运算以求得脉冲宽度的方法。

Measurement of subnanosecond laser pulse width by deconvolution

Jiang Hongli, Lin Meirong, Chen Wenju

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

Abstract: This paper presents an effective method in which a picosecond laser pulse is observed with an instruments of subnanosecond time response and the observed signal is deconvolved to obtain the pulse width.

得的结果完全一致。

引 言

随着超短光脉冲应用的日益增长, 发展了多种光脉冲宽度的测量技术。由于受电子学器件时间响应的限制, 对皮秒脉冲宽度不能进行直接观测。虽然条纹相机能直接观测超短光脉冲, 但仪器价格昂贵, 不能普遍应用。应用最为广泛的间接测量方法是双光子荧光技术^[1]和二次谐波自相关技术^[2]。前者用于脉冲锁模激光脉宽的测量, 后者多用于连续波锁模激光脉宽的测量。这种方法虽然精度高, 但用于亚纳秒光脉冲测量时存在一定的困难。本文提出用一般的电子学检测系统测量锁模光脉冲, 然后用解卷积方法求得脉冲的真实宽度。我们对氩离子锁模激光脉冲进行观测处理, 所得结果与用其它方法获

原 理

当用光电器件及示波器组成的测试系统观测光脉冲信号时, 如果观测系统的响应时间远小于脉冲宽度时, 在示波器荧光屏上即可直接获得脉冲宽度。若观测系统的响应时间接近或远大于所要观测的脉冲宽度时, 此时在示波器荧光屏上获得的图象 $D(t)$ 则是真实脉冲 $G(t)$ 与观测系统响应函数 $F(t)$ 的卷积。用数学关系表示为

$$D(t) = \int_0^t F(t-t')G(t') dt' \quad (1)$$

若要获得脉冲的真实宽度, 则在已知仪器响

收稿日期: 1986年3月17日。

* 中国科学院科学基金资助的课题。

** 王占山、陈晓白作毕业论文期间参加部分工作。

应函数 $F(t)$ 情况下, 对观测图象 $D(t)$ 进行解卷积, 其中迭代卷积法是应用较为广泛的方法。在该卷积法中^[3], 需首先假设一个脉冲函数 $G_0(t)$, 然后代入 (1) 式中进行卷积运算。将计算所得 $D^0(t)$ 与 $D(t)$ 进行比较, 用最小二乘法判断 D^0 与 $D(t)$ 的偏离程度。判断参数定义为

$$H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [D^0(t_i) - D(t_i)]^2, \quad (2)$$

反复修正 $G_0(t)$, 直到 H 达到最小, 此时的 $G_0(t)$ 即为 $G(t)$, 从而求出脉冲宽度。

在计算中, 若取样时间间隔远小于光脉冲宽度时, (1) 式的卷积形式可变为用分立值的求和来表示, 即

$$D(t_i) = \sum_{j=0}^i F(t_i - t_j) G(t_j) \quad (3)$$

设置 $G_0(t)$ 时, 首先要已知函数的形式^[4]。锁模脉冲形状一般为高斯型^[5], 此时

$$G(t) = G_0 \exp[-(t/T)^2] \quad (4)$$

式中参数 T 与脉宽的关系为

$$\tau = (2 \ln 2)^{1/2} T \quad (5)$$

将此关系代入 (3) 中得

$$D(t_i) = G_0 \sum_{j=0}^i F(t_i - t_j) \cdot \exp[-(t_i/T)^2] \quad (6)$$

关于卷积运算方法详见文献[3]。上述所有计算在台式微计算机上即可完成。

实 验

我们对氩离子声光锁模激光器输出的锁模光脉冲序列进行测量。脉冲重复率为 96 MHz, 激光输出波长为 514.5 nm。测量实验装置如图 1 所示。

用氩离子同步泵浦染料激光器的激光脉冲来提取仪器响应函数 $F(t)$, 染料脉冲宽度约为 4 ps。将染料激光脉冲送入观测系统, 此时在示波器荧光屏上显示出的波形即为测试系统的仪器响应函数。将氩离子锁模激光脉冲送入观测系统, 这时在荧光屏上显示的

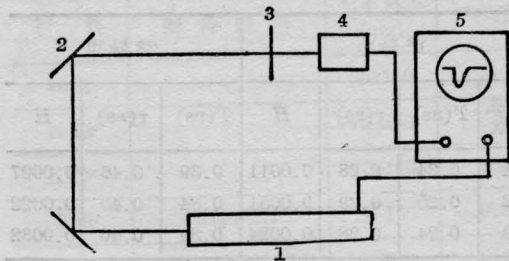


图 1 实验装置图

1—激光器, 当观测仪器函数时为氩离子同步泵浦激光器; 当观测待测脉冲时为氩离子锁模激光器;
2—石英反射器; 3—衰减板; 4—快速光二极管;
5—1GHz 取样示波器

为实测的脉冲图象 $D(t)$ 。用照相机拍照下荧光屏上的图象, 或送入记录仪进行记录。然后以时间间隔 50 ps 取数据点, 根据 (6) 式编程计算。以上全部计算在 AppleII 微计算机上完成。

结果及分析

我们对运转在两种状态下的氩离子锁模激光器输出的脉冲编号为 1# 和 2# 进行观测, 并用上述方法进行解卷积处理。计算结果列于表 1 中。图 2 给出 1# 脉冲的观测脉冲与计算结果的比较。

为了进一步验证所得结果的正确性, 我们用美国 S-P 公司 470 型扫描干涉仪观测

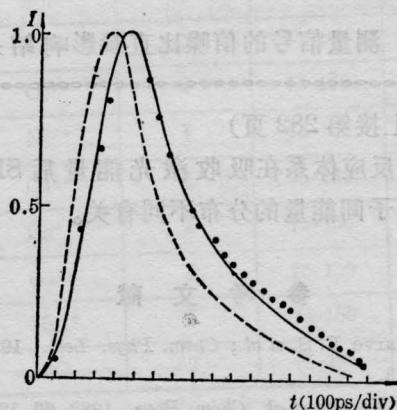


图 2 观测脉冲与计算结果的比较

--- 仪器响应函数; —— 观测脉冲; ● 计算结果

表1 脉冲宽度计算结果

1# 脉冲			2# 脉冲			
观测次数	T(ns)	τ (ns)	H	T(ns)	τ (ns)	H
1	0.24	0.28	0.0011	0.39	0.46	0.0027
2	0.25	0.29	0.0051	0.34	0.40	0.0022
3	0.24	0.28	0.0024	0.39	0.46	0.0032
$\bar{\tau}=0.28$ ns			$\bar{\tau}=0.44$ ns			

了运转在第一种情况时氩离子锁模激光的纵模,观测结果如图3所示。由关系式

$$\tau = \frac{1}{N} \frac{2L}{c} \quad (7)$$

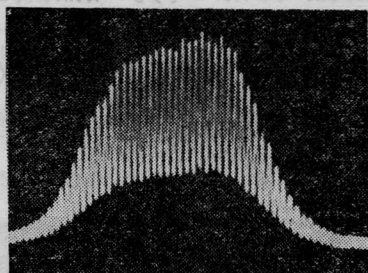


图3 1# 脉冲激光纵模照片

可估算出1#脉冲宽度为260 ps。式中 τ ——脉宽, N ——纵模数; L ——激光腔长; c ——光速。同样观测运转在第二种状态时的锁模激光脉冲宽度为430 ps。用解卷积法求得的结果与该观测结果很好吻合。

讨 论

1. 测量信号的信噪比直接影响结果的

(上接第282页)

可能与反应体系在吸收激光能量后 SF_6 和 UF_6 分子间能量的分布不同有关。

参 考 文 献

- [1] Karve R. S. et al.; *Chem. Phys. Lett.*, 1981, **7**, 273.
- [2] C. Angelie et al., *Chem. Phys.*, 1982, **66**, 129.
- [3] M. Cauchetier et al.; *Chem. Phys. Lett.*, 1982, **88**, 146.

准确性。当信号噪声高到一定程度时,会使卷积运算失效,故在测量中要使信号噪声减小到最小。噪声主要来源于周围环境的干扰及输入电缆失配。

2. 在观测时,应使提取仪器响应函数的脉冲强度与待测脉冲强度近似相等。这样在两次观测中测试仪器的的工作状态完全一致,避免仪器在不同状态下所带来的影响,减小测量误差。

3. 此法中提取测量系统仪器响应函数是用一个窄脉冲来实现的,也就是说,该窄脉冲相对待测脉冲可视为一 δ 函数,即

$$F(t) = \int \delta(t-t') F(t-t') dt' \quad (8)$$

因此提取仪器函数所用的窄脉冲要足够窄。这个脉冲的宽度越宽,所得到的结果偏离真实值越大。本工作所用的窄脉冲宽度是待测脉宽的2%左右。从图2中看出该测量系统的时间响应半宽度为440 ps。

4. 该方法可用来测量连续脉冲序列的脉宽,亦可用来测量脉冲式锁模脉冲的宽度。

参 考 文 献

- [1] M. Maier et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1966, **17**, 1275.
- [2] G. R. Fleming, G. S. Beadar; *Opt. and Laser Technology*, 1978, **10**, No. 5, 257.
- [3] 陈文驹, 林美荣, 姜宏丽; *《光学学报》*, 1985, **5**, No. 10, 904.
- [4] 陈文驹, 林美荣, 姜宏丽; *《光学学报》*, 1986, **6**, 1124.
- [5] A. W. Smith, A. J. Landon; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, **17**, No. 8, 340.
- [4] 秦启宗等; *《核科学与工程》*, 1983, **3**, 239.
- [5] China, C.-T. et al.; *Chem. Phys. Lett.*, 1983, **101**, 69.
- [6] 侯惠奇等; *《化学学报》*, 1984, **43**, 24.
- [7] 侯惠奇等; *《科学通报》*, 1984, **29**, 853.
- [8] C. R. Quick, Jr.; Wittig Curt; *Chem. Phys. Lett.*, 1977, **48**, 420.
- [9] J. M. Preses, R. E. Weston, Jr.; *Chem. Phys. Lett.*, 1977, **48**, 425.
- [10] 蔡中厚等; *《物理化学学报》*, 待发表.
- [11] 陆庆正等; *《中国科学技术大学学报》*, 1984, **14**, 365.