

激光光谱的时间分辨微弱信号测试系统

叶丽丽 杨石军 鲁士平 陈俊德 高文斌 季汉庭

(中国科学院安徽光机所)

提要:介绍用瞬态记录仪和多道分析器联接组成的多路平均系统,与通常的多路平均器相比较具有响应时间快,累加速度快的优点,并给出了模拟实验及 CH_4 分子的激光诱导荧光测试的结果。

Detection system for time resolved weak signals in laser spectroscopy

Ye Lili, Yang Shijun, Lu Shiping, Chen Junde, Gao Wenbing, Ji Hanting

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

Abstract: A transient digitizer is combined with a multichannel analyzer to form a multi-channel averaging system. This system has faster response time and higher accumulation velocity than normal multichannel signal averagers. It has been used in some simulating experiment and laser-induced fluorescence measurement of CH_4 .

一、引言

在激光光谱学、喇曼光谱学、分子表面物理、天体物理、荧光磷光测量、激光诱导荧光法的分子振动弛豫研究、超声探伤、遥感技术等研究工作中,有时所测信号是十分微弱的,它淹没在一片噪声之中。从噪声中提取和恢复信号,在重复脉冲的情况下,通常使用Boxcar平均器和多点平均器等这类微弱信号检测仪器。

Boxcar本质是一种单点平均器,对每个信号只取样一个点,所以要得到一个较好信噪比的波形,其总积分时间就显得很长。总之它是以牺牲时间来提高信噪比。但是在恢复信号时,我们的目的不光是增加SNIR信

噪改善比,而是对于输出一个SNIR较高的信号,要尽量减少测量所需要的时间,这样即能避免信号有限的重复性引起的误差。多点平均器的原理与Boxcar相同,功能就象多个Boxcar的并联使用。

这里介绍瞬态记录仪通过接口I与多通道分析器联接所组成的多路平均器系统,用于热微弱信号及 CH_4 分子的激光诱导荧光的测量,证实这种微弱信号测试系统具有以下优点: 1. 测试系统的响应时间快,可进行 $1\mu\text{s}$ 左右的快速信号测量(时间分辨率为 10ns /道)。2. 得到高信噪比的信号能大大缩短测量时间。多通道分析器的数字量输出通过接口II联到计算机上,在计算机上进行数据处理和计算有关参量,使检测工作大大向

收稿日期:1985年4月11日。

前迈进一步。

二、实验装置

本检测系统的实验装置如图 1 所示。信号由红外探测器接收,转变为电信号,电信号经过前置放大器和差分放大器放大进行瞬态记录仪(T. D)。我们所使用的 T. D 型号是 Model 8100, 它的输入灵敏度为 0.05~5 V, 有两个输入通道。前置放大器的放大倍数为 35 倍, 带宽为 1 MHz, 差分放大器的放大倍数为 500 倍, 带宽也为 1 MHz。T. D 的触发信号由激光获得, 幅值为 5 V 左右。

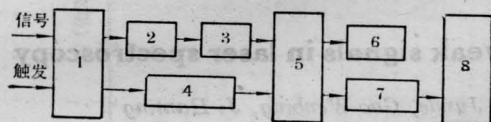


图 1 实验装置

- 1—瞬态记录仪; 2—放大器; 3—幅频转换器;
4—接口 I; 5—多通道分析器; 6—X-Y 记录仪;
7—接口 II; 8—计算机

T. D 的取样间隔范围(即每道的时间)从 $0.01 \mu\text{s}$ ~ 10s , 共有 2048 道。T. D 的输出受“标识”(FLG)和“指令”(CMD)信号控制, 两者结合起来可以控制 T. D 的数据输出的速度。我们在接口 I 中做了一个单稳延迟回路, 延迟时间 $\tau = 0.693 RC$ 。改变电容作为分档粗调, 改变电阻作为每档细调, 用来调节 FLG 和 CMD 之间的延迟时间, 这样很容易使瞬态记录仪和多通道分析器进行时间上的配合。所用的多通道分析器(MCA)为 IT 5400 型, 工作在多道定标方式时, 每道的时间范围从 $10 \mu\text{s}$ ~ 10s 。若取每道 $10 \mu\text{s}$, 工作在 1024 道, 则每次扫描要 10ms 多一点时间, 总的来说该系统最快可工作在 90 Hz 频率。接口 I 一方面是使 T. D 与 MCA 在时间上达到一致, 另一方面保证 T. D 和 MCA 同时开始工作。因为在接口 I 中还装有一个脉冲宽度鉴别器, 能够在 2048 个 FLG 脉冲前, 把单个触发脉冲(宽度比 FLG 脉冲宽)输送到多道的

触发信号输入端(FLG 脉冲通不过), 去触发多道扫描, 从而保证 T. D 和 MCA 同时开始工作。

MCA 工作在多道定标方式时, 能将作为时间函数的事件发生次数(即脉冲个数)按先后顺序记录在 $0 \sim 1023$ 不同道中。每一个触发开始一个 1024 道的记录, 并将后一次记录加在先前的结果上。这种方法的优点是输入速度快, 累加速度也快。所以我们首先要将 T. D 输出的模拟量经过幅频变化, 变成一系列供计数的脉冲。从 T. D 输出的信号电压幅值只有 $0 \sim 2.5 \text{V}$, 放大器的作用是提高电压幅值到 $0 \sim 10 \text{V}$, 然后经过幅频转换器(VFC), 将输入信号的幅值转换成不同频率的脉冲, 对应于 $0 \sim 10 \text{V}$ 的频率范围为 $0 \sim 1 \text{MHz}$ 。在 VFC 中除了幅频转换块外, 还有一个倒相块, 如遇负信号可以转换成正信号, 保证送入幅频转换块的信号总是正的。MCA 内有一个与数字存储器相连的转换装置——计数器。在每个扫描期间, 计数器依次计入在每个门宽时间中的输入脉冲, 并将计数加到相应存储地址的累加计数中, 进行归一化平均。 m 次扫描后, 信噪比改善到

$$\text{SNIR} = \sqrt{m}.$$

归一化平均后的信号可以模拟量输出, 接到 X-Y 记录仪上, 也可以数字量输出, 通过接口 II 送到计算机。接口 II 主要是把多道的 RS-232 串行接口和微机的 IEEE-488 并行接口联接起来, 由微机对实验结果进行拟合。MCA 的数字输出要为计算机接收由适当的程序可以保证数据同时进软盘和终端显示。对于分子振动弛豫实验, 我们已编写了适当的程序, 对实验数据进行拟合。

三、实验结果与讨论

为了检验这套检测系统, 我们对微弱热信号进行了检测。由重复频率为 10 Hz 的 YAG 倍频产生的 $0.53 \mu\text{m}$ 激光, 照射在纸

上产生热辐射, 经 KCl 透射聚焦在碲镉汞 (MCT) 探测器上 (77K), 由图 1 所示的装置探测。在这个实验中, T. D 的取样间隔为 $0.5 \mu\text{s}$, 2048 道的时间为 1ms , 即 MCA 荧光屏上的时间基线为 1ms 。图 2(a) 是 T. D 的模拟量输出在示波器上得到的一次脉冲的热信号加噪声的波形, 从图中可以看出热信号淹没在一片噪声之中。经该系统处理后, 热信号随着累加次数而明显增加, 而噪声由于幅度和相位随机, 多次平均后处于平直。图 2(b) 是 800 次归一化平均后的信号, 图 2(c) 是 8000 次归一化平均后的信号, 其信噪比大于 10:1。图 2(d) 是无热信号时 8000 次平均

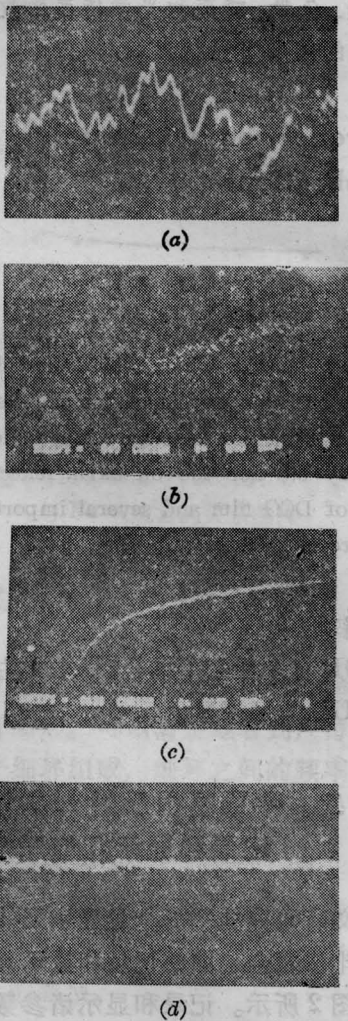


图 2 从噪声中恢复的信号

后 MCA 的基线。

为了进一步验证该系统对更加微弱及时标更快的信号的检测能力, 我们测定了 CH_4 分子振动弛豫中振动模 ν_4 的荧光。用 LiNbO_3 晶体温度调谐的 OPO 激光器产生 $3.3 \mu\text{m}$ 的红外激光激励 CH_4 的伸展模 ν_3 , 由于分子间的互相碰撞, 各振动能级间的能量发生转移, 从 CH_4 的 ν_4 振动模辐射产生的 $7.6 \mu\text{m}$ 的红外荧光用上述装置进行探测。在这个实验中, T. D 的取样间隔为 $0.02 \mu\text{s}$, MCA 的时标则为 $40 \mu\text{s}$, OPO 激光器 $3.3 \mu\text{m}$ 的脉冲能量为 $30 \mu\text{J}$ 左右, 脉宽为 10ns 。受激分子发生的荧光信号比热信号微弱得多, 对于这么一个微弱信号经本装置 20,000 多次归一化平均后获得了信噪比优于 5:1 的荧光信号, 见图 3。荧光信号的上升部分表示了 ν_4 的粒子数布居, 下降部分表示了 ν_4 消激活行为。通过计算机用双指数函数拟合, 消激活结果与文献 [2] 报道一致。

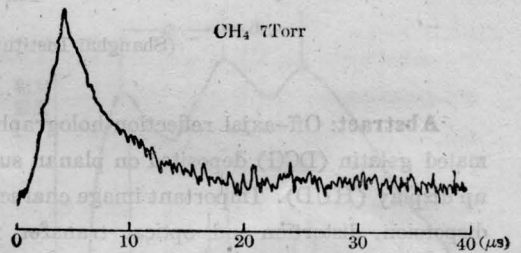


图 3 CH_4 的 ν_4 振动模红外荧光信号

我们这套检测系统主要是用来检测分子振动弛豫时辐射产生的红外荧光, 测量时间可大大缩短。通过更换不同的探测器, 如锗掺铜 (Ge:Cu), 锗掺汞 (Ge:Hg), 碲镉汞 (Hg-Cd-Te), 铋化铟 (InSb) 等, 可对 $1 \sim 30 \mu\text{m}$ 的整个红外区都响应。选用光电倍增管作探测器, 则该系统探测的光谱响应范围可扩展到可见与紫外波段。

参 考 文 献

- [1] 《微弱信号检测动态》, 1980, No. 1.
- [2] M. H. De Vasconcelos, A. E. Devries; *Physica*, 1977, **86A**, 490~512.