

条纹相机在瞬态光谱测量中的应用

源永安 余振新

(中山大学激光与光谱学研究所)

摘要: 本文扼要地描述了利用条纹相机系统测量光脉冲波形、物质的荧光寿命以及作时间分辨率光谱测量的基本方法及其应用, 并对它们的适用范围作了讨论。

Applications of streak camera in transient spectroscopy

Yuan Yong'an, Yu Zhenxin

(Laser Optics and Spectroscopy Institute, Zhongshan University)

Abstract: The basic methods for measuring light pulse profile, fluorescence kinetics, time-resolved and space-resolved spectra using a streak camera system were summarized and their suitable ranges were also discussed in this paper.

自然界中存在着许多至今尚未为人们所了解的变化极其迅速的各种过程。要观测这些过程需要两个基本条件: 一个脉冲宽度极窄的超短激光脉冲光源以及有一个响应非常迅速的光电探测记录系统。ps(10^{-12} s)时域的光测量技术是伴随着ps激光脉冲的产生技术发展起来的。现已容易获得ps乃至fs(10^{-15} s)量级的商品化的超短脉冲光源, ps光脉冲具有超短时间和容易达到高功率的特点, 这使我们可以用ps的时间分辨精确度测量物质在强的光场作用下的受激弛豫过程及许多非线性特性, 用ps光脉冲作用于原子、分子、及凝聚态物质体系等会产生许多新的现象, 并以 10^{-12} s的分辨率去观测其动态过程。在受激分子的弛豫过程中, 通常会产生荧光或喇曼散射光, 研究这些弛豫特性可以给出物质结构方面的许多信息。

近十年来的发展情况表明, ps范围的光测量技术, 在物理、化学、生物、物性、光化学、生物化学、生物物理、光学工程、光通信、激光核聚变、高能物理以及若干跨学科的新领域中已成为日益重要的基本技术, 而超快速条纹相机是在上述领域中应用得十分广泛的一种测试设备。

本文就利用条纹相机系统测量光脉冲波形、荧光寿命、发光和吸收动力学光谱, 以及其他空间和时间分辨测量等的基本测量方法及其适用范围加以叙述和讨论。

一、条纹相机系统

条纹相机系统的外观如图1所示。大致分为两部分：条纹相机和直读式显示记录系统，后者包括具有象增强靶的析象管、图象分析器和显示器等，另外，还有用于产生触发信号的快速光电二极管，电延迟线以及供数据处理用的计算机及记录仪等。有条纹相机的基本工作原理请参考文献[1]。

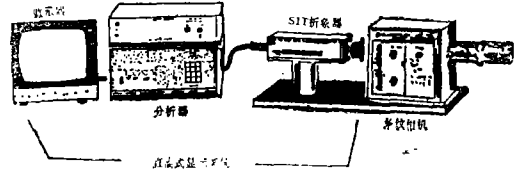


图1 条纹相机系统图

二、光脉冲波形的测量

光脉冲波形测量是条纹相机最基本应用之一，曾用条纹相机直接测定了激光二极管产生的ps光脉冲的精细结构，测得的光脉冲半宽度约为1ps^[2]。

图2是用单次扫描型条纹相机测量激光脉冲波型的典型布局^[3]。通过分束器取出被测光的一部分，由光电二极管接收并经电学延迟线后作为条纹相机的触发信号。在被测光路上设计一个相当于触发延迟时间的光学延迟线置于光路上，触发信号的精确同步是利用延迟单元中的电学调整来实现的。利用条纹相机的“调焦档” (Focus Mode) 进行信号光束位置的准直调整，接着选用适当的“速度档” (Streak Time)，并通过观察出现在显示器上的条纹象来调整延迟时间，然后再选定条纹象的分析范围 (即窗口)。

根据图2的测量系统，从被测光射入条纹相机大约1s之后，入射光脉冲波形即以曲线形式近似实时测量出现在显示器上。条纹相机既可以显示单一脉冲的条纹象，也可以显示数千赫以下的重复率光脉冲的条纹象。在需要作更精确的光脉冲波形测量时，必须对条纹相机的扫描速度进行校正。为此，可用图3所示的“双脉冲”方法，就是把已知时间间隔的两个光脉冲和被测光一起输入条纹相机入射狭缝的不同位置上，然后从显示器所获得的条纹象来校正时间轴，可以进一步提高测量的精确度。

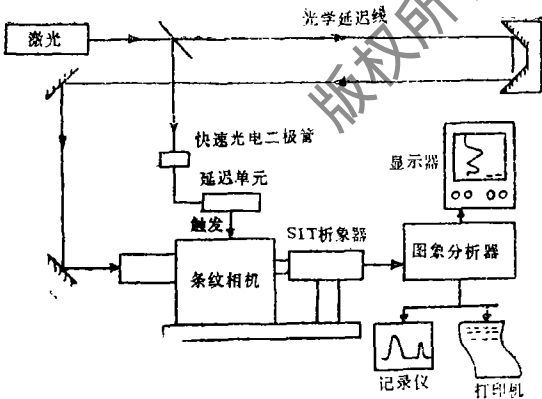


图2 条纹相机测量光脉冲波形方框图

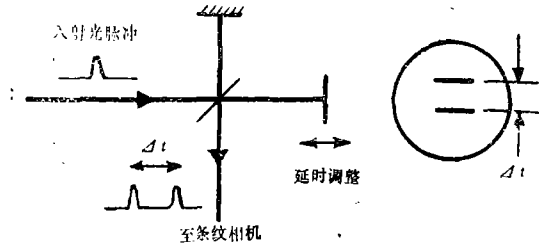


图3 校正时间轴的双脉冲产生和条纹象的关系

图4 (略) 是用图2的光脉冲波形测量装置，直接显示激光二极管的ps光脉冲的条纹象及其光强分布，测得光脉冲半宽度是70ps^[4]。

三、荧光寿命测量

测量分子及其聚合物的激发态的弛豫过程中所产生的光现象，即荧光寿命的测量，其结果能有效地解释分子及其聚合物的结构以及研究能量转移过程。近几年来，利用超快速条纹相机测量由激光激发的荧光寿命的方法应用得愈来愈广泛〔4~5〕。

用超快速条纹相机测量激光激发荧光的测量系统与图2大致相同，所不同的是在条纹相机前面放置样品池，通常为了避免激发光直接射入条纹相机，让激发光与条纹相机的光轴相互垂直或成较大的夹角。为了有效地收集荧光，在条纹相机入射光学系统和样品池之间配置一个由透镜组成的集光系统。为了提高信噪比，条纹相机入射狭缝前面放置干涉滤光片，将激发光和荧光完全分隔开来，而只让荧光进入条纹相机。此外，在极微弱的荧光测量时，可用信号叠加求平均的方法提高信噪比，但要注意此时触发信号抖动会限制条纹相机系统的时间分辨率的提高，因此，要考虑到由于触发抖动引起的各条纹象对时间轴偏差的修正。如图5所示，将校正时间轴用的光脉冲和被测量的荧光一起射入条纹相机，并以校正光脉冲的位置为基准修正触发抖动。当然，也可以用前述的“双脉冲”方法修正触发抖动。进行几个ps的时间分辨测量时，样品池的尺寸也要注意，厚度一般小于1mm。

图6是用条纹相机测得四碘荧光素的荧光寿命。

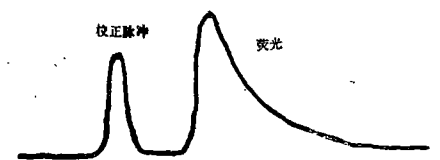


图5 用校正脉冲修正触发抖动的方法

四、时间分辨光谱测量

条纹相机给出的条纹象是一个二维图象，既可作时间分辨测量，也可以和分光器配合同时进行频域的光谱分析，即可构成一台具有时间分辨功能的光学多道分析器，最近，关于这方面的应用受到特别重视。

图7是时间分辨光谱测量系统〔4〕的方框图。分光器是选用光谱成象面为平面的平面光栅光谱仪，作时间分辨光谱测量时，要使波长轴（光谱按波长分布方向）与条纹相机的入射狭缝高度方向平行地入射光谱，此时，条纹管荧光面上形成的条纹象，纵轴为时间轴，横轴为波长。只要把象增强靶析象管（SIT）旋转90°，就得到图8表示的两种结果，图8a是用了二窗口条纹象分析器，分别得到了256通道（时间）×2窗口（波长）或者2窗口（时间）×256通道（波长）的结果，并以总画面的1/256精确度任意选定窗口的位置和宽度。图8b是多窗口条纹象分析器分别得到256通道（时间）×64窗口（波长）或64窗口（时间）×256通道（波

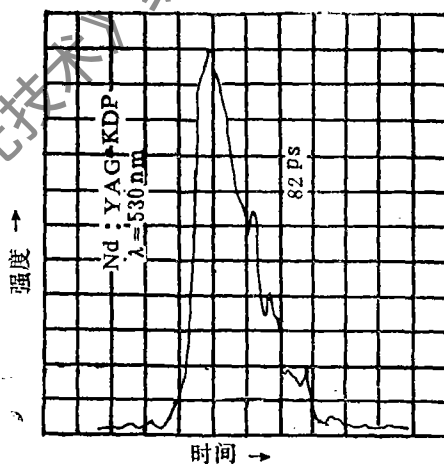


图6 用条纹相机系统测量四碘荧光素的荧光寿命（图象分析器显示）

长)的结果。当入射光谱宽度为 $\Delta\lambda$ 时,系统的波长分辨率为 $\Delta\lambda/64$ 。Schiller^[8]等人指出:作时间分辨光谱测量时,时间增宽和波长增宽遵守测不准关系原理($\Delta\tau\Delta\nu\approx 1$),因此,实际测量时,必须充分考虑时间分辨率和波长分辨率之间的制约关系。

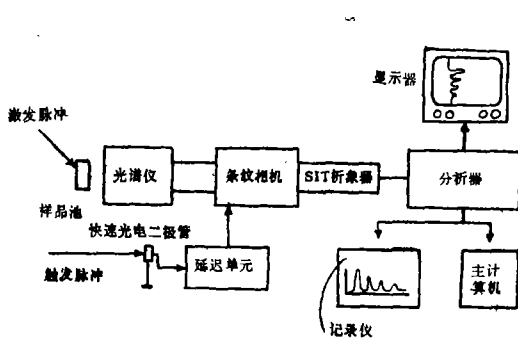


图7 时间分辨光谱测量系统的组成

图9是直接测量激光二极管的振动弛豫实验系统。图10是从二极管激光得到的ps脉冲的时间分辨光谱的条纹象。图11是选定了条纹象分析器窗口宽度后,通过改变分析器窗口的位置,求得对应于各个时刻的光波长分布的三维图象,这是首次成功地用条纹相机实时直接测得了二极管激光的振动弛豫过程的例子,近年来,这项技术已获得广泛应用。

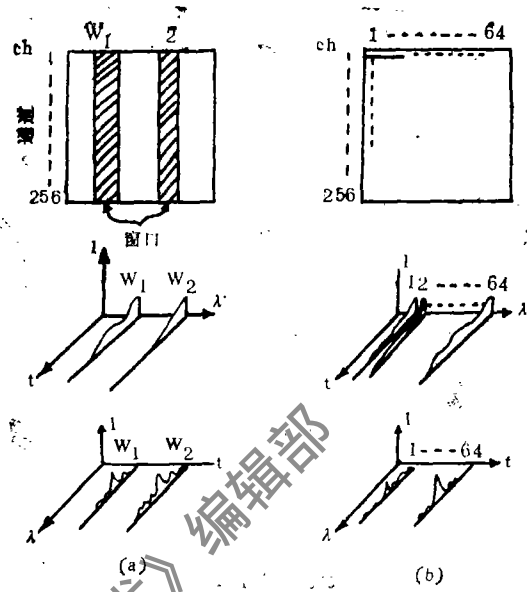


图8 SIT析象器转动90°时,得到二种时间分辨光谱
(a) 二窗型条纹分析器的情形
(b) 多窗型条纹分析器的情形

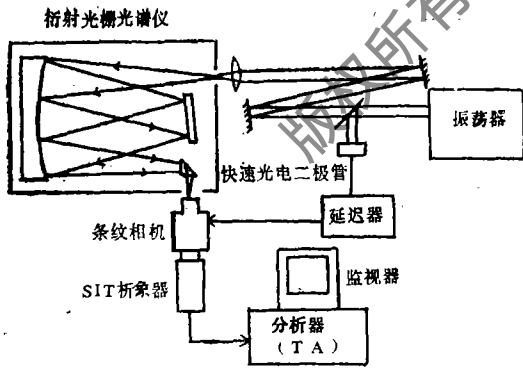


图9 亚ns二极管激光脉冲的时间分辨光谱测量装置图

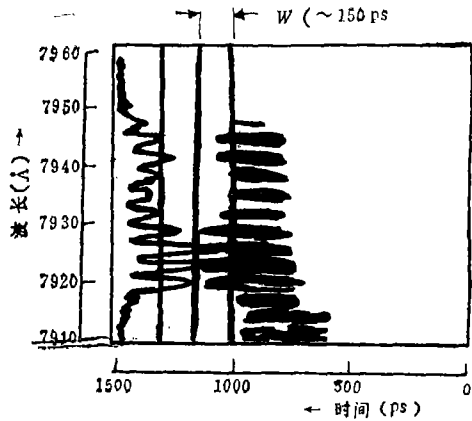


图10 二极管激光的ps脉冲弛豫振动的条纹象及其光强分布

另外,已经知道,用ps光脉冲照射石英、 CCl_4 、 D_2O 等材料时会产生ps的光谱超展宽的脉冲光,它常被用作测量ps瞬态吸收的探测光束。但是,这种ps光谱的超展宽的光的时间

宽度以及到达样品的时刻均依赖于波长，利用超快速条纹相机系统的时间分辨光谱测量方法，可直接测量其特性^[9]。

五、时间和空间分辨测量

设计一个成像光学系统代替图9中的分光系统，可作空间和时间分辨测量。成像系统把测量目标聚焦在条纹相机的狭缝上，测量目标沿一直线上不同位置的光强分布随时间的变化。一个有代表性的应用例子是在核聚变研究中观察激光压缩靶的光谱变化。其他应用例子还有放电现象的分析，高速位移测量以及冲击波的分析等。

图12是用X射线条纹相机测量激光核聚变系统的简图^[2]。在X射线范围内测量

时，要采用针孔透镜代替普通的光学透镜聚焦，且入射光学系统要保持真空状态。用于爆炸等现象分析时，利用排列在条纹相机前面的光纤将各个方向的光收集后聚焦到狭缝上（如图13），此法可作空间和时间分辨测量，尤其当条纹相机不能靠近测量目标时，或者要实现多路测量时更有效。当然，作高时间分辨率测量时，必须考虑到光纤本身对信号的时间展宽问题。

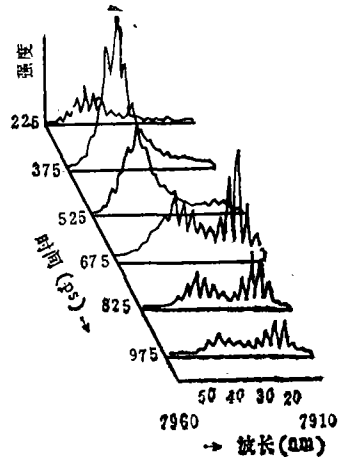


图11 从图10的条纹象得出的三维显示曲线

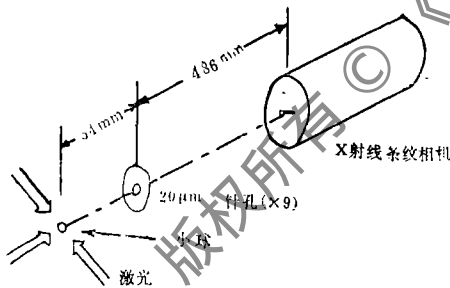


图12 X射线条纹相机系统测量激光压缩靶的爆炸

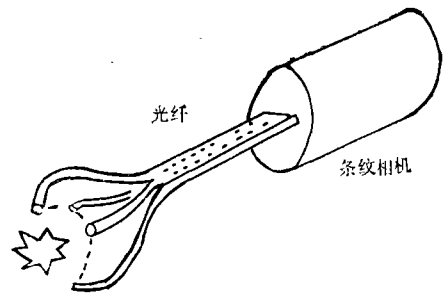


图13 条纹相机系统作多通道同时测量的基本原理

六、吸收测量

要测定超快速极微量的吸收变化过程，必须有高的信噪比。已经知道^[3]信噪比与光子数的平方成正比例。表1列出吸收测量中的光密度范围与要求的信噪比和需要产生的最小光子数目。

从表中可知，对条纹相机系统来说，就是如何提高信噪比，亦即如何扩大动态范围的问题。光吸收测量时，通常是利用条纹象分析器的图象叠加法，门选通技术以及使用窄带滤光器选择光信号等手段提高信噪比。

表1 吸收测量中光密度与光子数目的关系

光密度	透过率	改变量	信噪比	光子数目
0.1	0.79	0.21	5	25
0.01	0.98	0.02	50	25×10^2
0.001	0.998	0.002	500	25×10^4
0.0001	0.9998	0.0002	5000	25×10^6

图14是ps时域光吸收测量装置简图。探测光束可以是闪光灯连续光谱或ps超连续扩展光谱。值得注意的是用闪光灯光作探测光束时，如在非测量时间内让探测光射入条纹相机，将对测量结果产生各种不良影响。因此，为了提高信噪比，必须采用门选通技术。

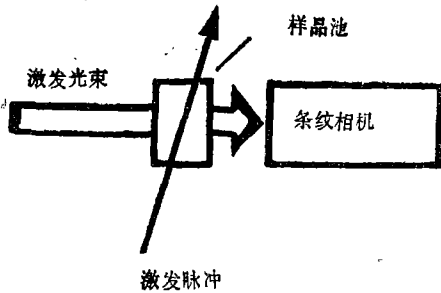


图14 测量ps范围光吸收的方块图

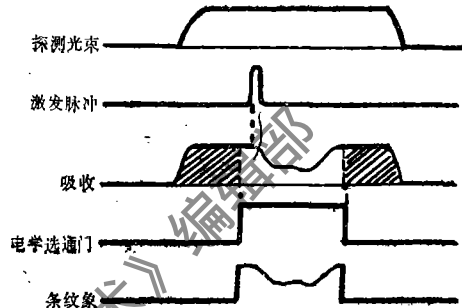


图15 利用条纹相机的电学选通门的吸收测量原理

图15是条纹相机利用门选通技术测量时间分辨吸收光谱的原理图。极微弱光的测量时，最好选用同步扫描条纹相机系统。只要所测量的极微弱光的重复频率足够高（例如 $1 \sim 10^2$ MHz），那么，在1s的观测时间内，可以实现 $10^6 \sim 10^8$ 次图象叠加，有希望把信噪比提高约 10^4 倍。

结 束 语

超快速条纹相机作为瞬态（ps范围）过程的记录设备，在光脉冲波形测量，空间和时间分辨光谱测量，以及对荧光、吸收和散射的动力学测量等获得愈来愈广泛的应用。本文介绍了各种测量系统的基本结构，以及提高测量精确度的方法，测量范围的限制，新的应用测量例子及其测量结果。

参 考 文 献

- [1] 源永安，《应用激光》，1983年，第3卷，第3期，第35页。
- [2] Y. Tsuchiya et al., J.A. P., 1982, Vol. 53, No.10, P.6671.
- [3] 土屋 裕，レーザー研究，1982, Vol.10, No.2, P.148.
- [4] 土屋 裕，超高速ストリークカメラシステムの研究，1985, P.149.
- [5] A. J.Campillo et al., IEEE,J.Q.E., 1983, Vol.QE-19, P.585.
- [6] W.Yu et al., J.Chem.Phys., 1977, Vol.67, No.4, P.1766.
- [7] N.H.Schiller et al., Optics Cammun., 1980, Vol.35, No.3 , P.451.

高温超导薄膜的激光制备技术及其展望

范永昌 安承武 周凤晴 陆冬生

(华中理工大学激光技术研究所)

摘要: 本文评述了激光溅射方法制备高温超导薄膜的特点和优势, 探讨了溅射和成膜过程的基本机理, 展望了激光技术在高温超导薄膜的低温制备、显微制版等超导微电子工艺中的广阔应用前景。

Laser making technique and perspective of high temperature superconducting film

Fan Yongchang, An Chenwu, Zhou Fengqing, Lu Dongshen

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: The characteristics and advantages of laser sputtering method for making high temperature superconducting film are reviewed. The basic mechanism of sputtering and film growing process is discussed. The wide application prospect of laser technology in low temperature making and micropatterning of high temperature superconducting film is pointed out.

一、引言

Y-Ba-Cu-O, Bi-Sr-Ca-Cu-O 等一系列新型高温超导材料的相继发现, 极大地推动

(8) H.Masuhara et al., Optics Commun., 1983, Vol.44, No.6, P.426.

*

*

*

作者简介: 源永安, 男, 1939年12月出生。工程师。现从事激光与光谱技术研究。
余振新, 男, 1938年11月出生。教授。现从事激光与光谱学研究。

收稿日期: 1988年10月17日。

收到修改稿日期: 1989年5月17日。