

ps 超高速电光采样*

张影华 刘玉璞 陆培华 沈晋汇 朱筱春 曹根娣

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道了一种用于表征超快电脉冲瞬态特性的超高速电光采样技术, 利用电光晶体行波普克尔效应和高重复率飞秒脉冲染料激光系统, 获得结果是时间分辨率小于 1 ps, 电压灵敏度小于 $50 \mu\text{V}$ 。测出了 Cr:GaAs 光电导微带开关的瞬态波形和微带传输线的色散特性。

关键词: 电光采样, 普克尔效应, 碰撞脉冲锁模, 光电导开关

Picosecond electro-optic sampling

Zhang Yinghua, Liu Yupu, Lu Peihua, Shen Jinhui, Zhu Xiaochun, Cao Gendi

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

Abstract: Ultrafast electro-optic sampling technique for characterizing ultrafast electrical transients is reported. The traveling wave Pockels effect in electrooptic crystal and high repetition rate femtosecond dye laser system were employed. Temporal resolution of less than 1 ps and voltage sensitivity of less than $50 \mu\text{V}$ have been obtained, and the electrical transients of Cr:GaAs photoconductive switch and dispersive characteristics of stripline transmission lines were measured.

Key words: electro-optic sampling, Pockels effect, colliding pulse mode-locked, photoconductive switch

一、引言

近十年, 超快光电子器件发展迅速, 这些器件将是下一代计算机和通信系统的基本元件。这些器件的运行速度比通常的电子器件速度快得多, 为测量这些器件的性能并促进其发展, 超快速探测技术的研究是必不可少的。至今已报道了四种新的采样技术^[1], 即 Josephson 结采样、光电发射采样、光电导采样和电光采样。其中时间分辨率最高并最有希望的是电光采样。电光采样系统全是光学系统, 在测量过程中不改变电子器件中的电流特性, 时间分辨率已达到亚皮秒 (ps), 电压灵敏度达微伏量级。目前, 超短激光脉冲已达到几个飞秒 (fs), 电光晶体普克尔效应的响应时间可达 10^{-15} s 量级, 因此, 这种测量系统的时间分辨率在原理上还能大大提高, 目前主要限制是器件的几何设计和制造工艺, 可以期望这种测量技术器件随着半导体工艺、光电子和微电子技术的发展而进一步改进和提高。

收稿日期: 1991年5月6日; 修改稿收到日期: 1991年5月31日。

* 国家自然科学基金资助项目。

二、电光采样原理

电光采样的核心是普克尔电光效应。普克尔盒和最新的锁模激光技术相结合构成了最新的超快电光采样技术。

图 1 所示是一般的电光采样系统结构图。在系统中激光系统是一台能产生 sps 或 fs 超短光脉冲的高重复率锁模激光器。激光脉冲列由分束器分成两束，一束经斩波器去激发被测电路，被测电路产生的电信号通过传输线送到电光介质上，作为电光调制信号，在电光介质中感生双折射。另一束为取样光束，通过一可变延时线，这是为给出被测电信号的扫描波形，该延时器和显示器同步驱动。当取样光脉冲列通过置于正交偏振器之间普克尔盒时，每个光脉冲的强度变化和因光脉冲通过电介质而瞬时加在介质上的被测电信号波形在该部分的振幅成正比，这样就实现了光脉冲对被测电脉冲的取样。可变补偿器放在正交偏振器之间可以补偿电光晶体的静态双折射，光学偏置普克尔盒使透过率和所加电压的变化关系处在线性部分(最灵敏)。经过普克尔盒的光束由普通光电探测器探测，光电信号经锁相放大器和信号平均器改善信噪比和放大，然后显示器给出被测信号波形。

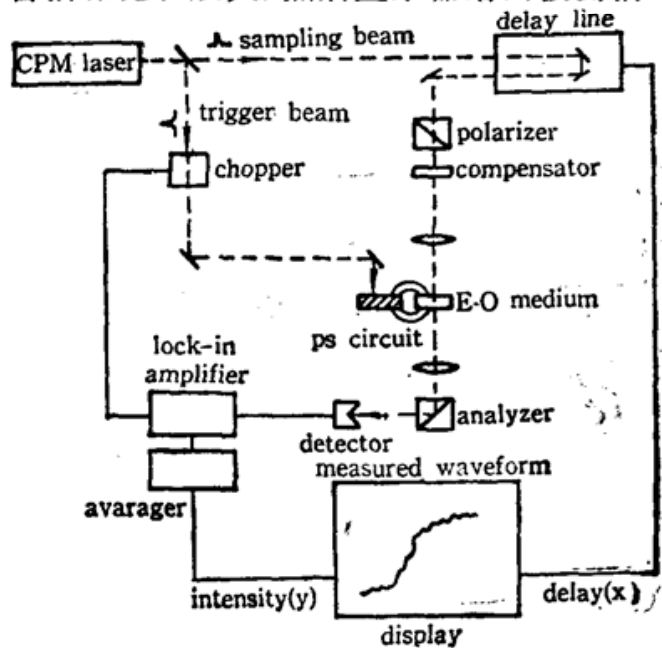


Fig. 1 General configuration of the electro-optic sampling system

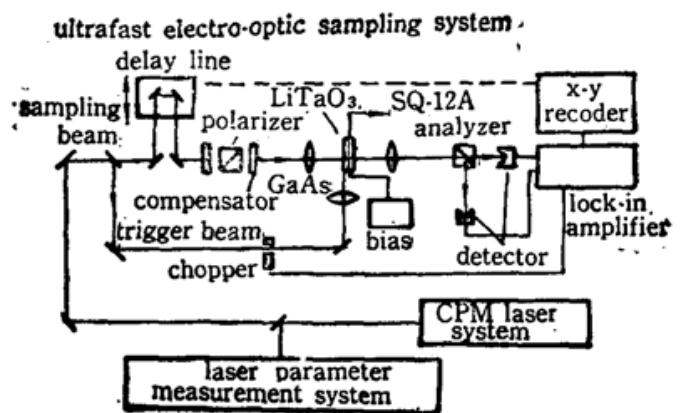


Fig. 2 Experimental arrangement for ultrafast electro-optic sampling technique

三、实验研究和结果

图 2 所示是我们研究超快速电光采样技术的实验装置图。激光系统是一台由连续氩离子激光泵浦的碰撞脉冲锁模(CPM)和腔内插入一棱镜组色散补偿的环形染料激光器，输出是光脉冲宽度小于 100 fs (一般在 60~70 fs)，波长为 620 nm，重复率为 80 MHz 的稳定激光脉冲序列(如图 3 所示)。在电光采样系统中为了得到一个适合的超快速电脉冲信号，我们用高阻 Cr:GaAs 材料研制了微带光电导开关，作为超快电脉冲发生器，用 LiTaO₃ 电光晶体作行波普克尔盒调制器，并把开关与普克尔盒研制成标准型的微带一体化器件，整个器件的尺寸为宽

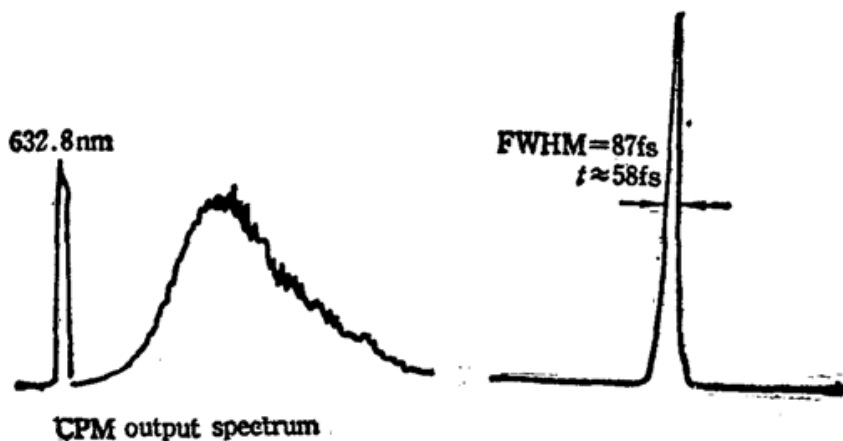


Fig. 3 Autocorrelation traces of CPM output pulses

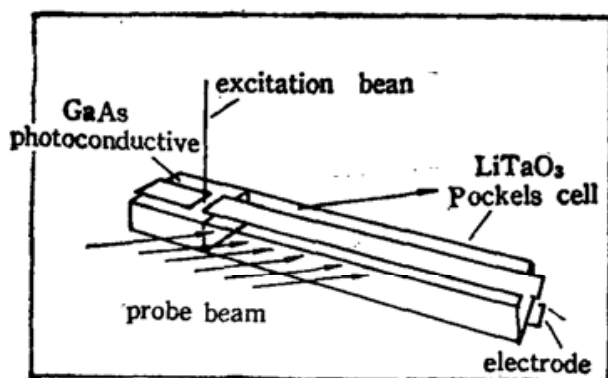


Fig. 4 Electro-optic crystal and detector test arrangement

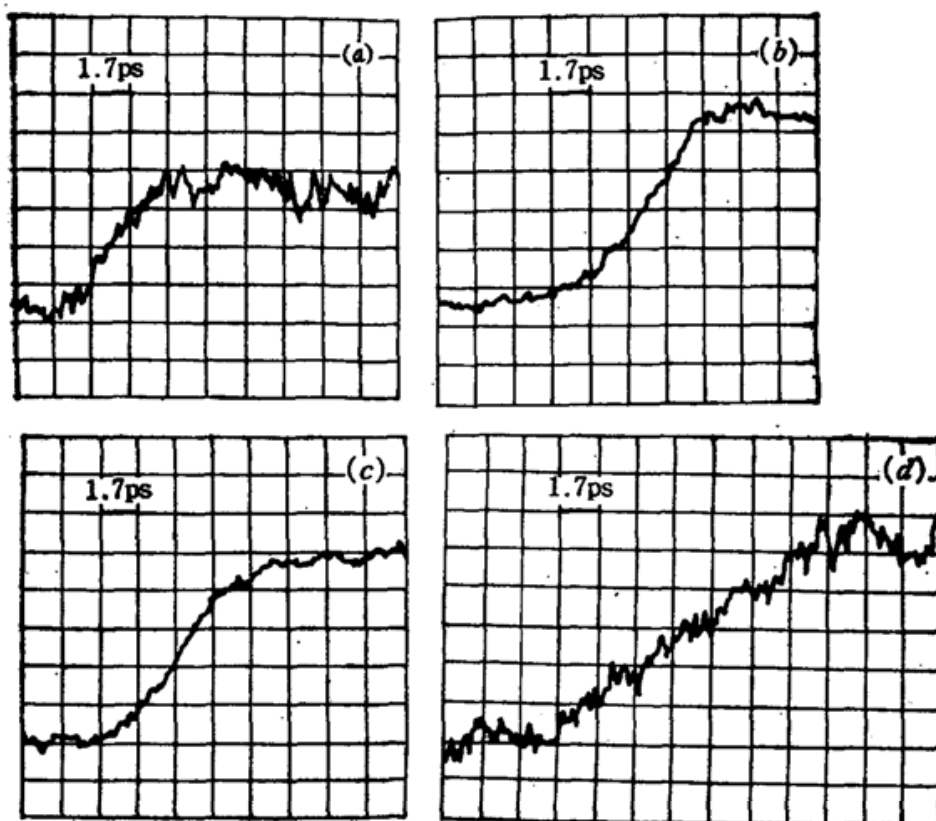


Fig. 5 Experimental test results of ps electro-optic sampling. The spacing between the sampling position and the switch gap
(a) 1.00mm; (b) 1.25mm; (c) 1.50mm; (d) 2.00mm

0.7 mm、长 20 mm、厚 0.3 mm、微带电极宽为 0.3 mm, 材料为铝合金, 开关间隙为 $50 \mu\text{m}$, LiTaO_3 晶体取向 z 轴垂直于光刻电极的表面。作为被测电脉冲产生激发源的超短激光脉冲和电光采样探针的光脉冲二者在微带一体化器件中的取向互相垂直, 如图 4 所示。当微带器件上加 $10 \sim 50 \text{ V}$ 偏置电压时, GaAs 光电导开关就能产生几十 mV 的 ps 超快电脉冲信号, 在取样示波器 (SQ-12 A) 上可观测到稳定的电脉冲序列。ps 电脉冲通过微带传输到半波电压为 2 kV 以上的 LiTaO_3 晶体普克尔盒中, 所产生的调制度达 10^{-5} , 微弱的电光信号深埋在 10^{-1} 量级的激光噪声之中, 一般检测都采用高频锁相放大器和信号平均器改善信噪比。我们采用高性能锁相放大器 (P-52 A) 的差分放大和低频 (10 kHz) 偏置同步检测, 测出了当 GaAs 光电导开关-普克尔盒一体化微带器件上加 50 V 偏置电压时, 灵敏度在 $20 \mu\text{V}$ 的 ps 电脉冲波形, 图 5(a~d) 所示是取样点离光电导开关间隙不同距离所测得的电脉冲前沿上升的波形。从图 5(a) 可以得到电脉冲在 $10 \sim 90\%$ 的前沿上升时间为 2.6 ps , 这是我们目前条件下较好的实验结果。从图 5(a) 至图 5(d) 很清楚地显示了 ps 电脉冲在微带传输线中的色散效应。

电光采样系统的时间分辨率一般取决于三个主要因素: 电光材料的频率响应、调制器中相互作用的几何结构和接口结构的色散。前二个因素是电光采样特有的, 也是最重要的; 而第三个因素是所有电光测量系统共有的问题。使用的电光晶体的本征频率响应因晶格谐振出现吸收而受到限制, 这种吸收通常在 THz 范围内才开始出现。D. H. Auston^[2] 已指出 LiTaO_3 作为电光采样材料, 吸收系数在 0.5 THz 时是 10 cm^{-1} , 即时间特性在 1 ps 以下的信号, 为了保持初始信号的 10% , 传输距离的极限为 0.23 cm 。对于 GaAs 作光电导材料在 4.7 THz 时才发生吸收, 比 LiTaO_3 要好 10 倍。因此采用 LiTaO_3 和 GaAs 作电光介质是较好的, 其时间分辨率小于 1 ps 。调制器中相互作用的几何结构的时间分辨率是由取样光脉冲探针和渡越的电信号在电光介质中一起传输时的卷积时间所决定, 这可以通过采用更短的光脉冲和采样光束紧聚焦, 缩小电光介质的厚度和微带电极的宽度加以改善, 而卷积时间可以通过速度匹配而缩短, 例如用 100 fs 光脉冲采用紧聚焦在 LiTaO_3 成 $10 \mu\text{m}$ 光斑大小, 在速度匹配条件下, 时间分辨小于 400 fs 。影响时间分辨率的第三个因素可通过改善普克尔盒微带电极形状, 如采用共面微带等尽量缩短采样点和电脉冲产生的距离, 可以测出亚 ps 电脉冲波形。

参 考 文 献

- 1 Ravi Jain, *SPIE*, **795**, 120(1987)
- 2 D.H. Auston *et al.*, Proc. Conf. on Picosecond Electronics and Optoelectronics, March, 2(1985)