

基于 $1.3\mu\text{m}$ 增益开关 DFB 激光器的 外电光采样系统*

王云才** 王贤华[√] 陈国夫

(中国科学院西安光机所瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西, 西安, 710068)

TN248.4

摘要 建立了基于 $1.3\mu\text{m}$ 增益开关分布反馈式(DFB)半导体激光器的外电光采样系统. 通过微小的 LiTaO_3 电光探头做为电场传感器, 实现了对具有重复频率的快速电脉冲波形的光学采样测量. 实验测量了光电器件的脉冲响应及微带传输线上的梳状波波形. 系统的性能分析表明该系统具有 18GHz 的带宽.

关键词 电光采样, 半导体激光器, 增益开关, 激光二极管.

引言

超快电子学及光电子学的迅速发展, 要求提供相应的快速测试技术. 纯电子测试仪器(如采样示波器)受电子采样窗口的限制, 其测量带宽限制在 50GHz 以内, 且无法对集成器件内部节点的信号进行测试. 电光采样技术^[1,2]是利用超短光脉冲做为采样门, 利用电光晶体的 pockels 效应对具有重复频率的高速电脉冲进行无扰(微扰)测量. 其时间分辨率可达 150fs ^[3]. 我们曾建立了内电光采样系统^[4], 获得了 9ps 的时间分辨率及 $0.43\text{mV}/\text{Hz}^{1/2}$ 的电压灵敏度. 但内电光采样技术要求被测器件本身具有电光效应, 即器件衬底必须为电光晶体, 同时要求对器件测量点进行光学加工, 限制了其应用. 外电光采样^[5,6]利用外部放置电光探头, 将被测电信号转变为光信号进行测量. 它对信号的干扰小, 且可对二维器件表面的任意节点进行测量. 我们实现了外电光采样技术, 用增益开关半导体激光器的超短光脉冲做为采样脉冲, 对光电器件的脉冲响应及微带传输线上的梳状波波形进行了测量.

1 系统装置

外电光采样系统的采样光源是增益开关半导体激光器产生的超短光脉冲, 所用激光器为 MITSUBUSHI ELECTRIC 公司生产的 $1.3\mu\text{m}$ DFB LD(FU-45SDF-38). 频率合成器及梳状波发生器为半导体激光器提供增益开关驱动信号, 半导体激光器直流偏置在阈值附近. 在增益开关下半导体激光器产生的光脉冲宽度典型值为 18ps (FWHM), 脉冲的重复频率为 945MHz , 平均光功率为 1.5mW . 采样光脉冲经过起偏镜, $\lambda/4$ 波片, 显微镜镜耦合进电光探

* 攀登计划基金(编号 59307007)资助项目

** 现工作单位太原理工大学应用物理系, 030024

稿件收到日期 1996-11-08, 修改稿收到日期 1997-02-03

头, $\lambda/4$ 波片的作用是使系统工作在线性区及提高信噪比^[2]. 电光探头的结构如图 1 所示, 将熔融硅磨成内角为 115° 的倒金字塔结构, 顶部面积为 $1 \times 1 \text{ mm}$, 底部面积为 $200 \times 200 \mu\text{m}$. 在底部用透明光敏胶-LiTaO₃ 薄层, 尺寸为 $200 \times 200 \times 40 \mu\text{m}$ (厚). 光束在探头内利用全反射返回, 再经过检偏镜由 pin 光电接收器进行差分接收, 窄带锁相放大器用以提高系统的灵敏度.

不同的待测器件具有不同的驱动方式, 因此实验系统也略有不同. 对于光电器件, 由起偏器分出的另一束不同偏振状态的光脉冲触发. 对于微波有源器件, 则由频率合成器提供与光脉冲同步的微波连续驱动信号. 对于无源线性网络, 通常由脉冲信号驱动, 这可以由一梳状波发生器实现. 图 2 和图 3 分别给出测量光电器件及微波器件的实验装置, 我们测量的光电器件为上海冶金所研制的 SMA 同轴封装 InGaAs PIN 高速光电探测器^[1]. 微波器件为共面微带线. 由于光电探测器输出幅度较小, 实验中后接一 RF 放大器 (3GHz 带宽), 这样实验系统测量得到光电探测器的脉冲响应受到放大器及微波调制器 (2GHz) 的带宽限制. 放大的信号经微波调制器, 调制器工作在 100kHz, 用于给锁相放大器提供参考信号, 选择较高频率的参考信号可以减少系统的低频噪声. 为方便测量, 光电器件的响应脉冲再耦合进共面微带线. 共面微带线的电极宽度为 $10 \mu\text{m}$, 间隔为 $20 \mu\text{m}$.

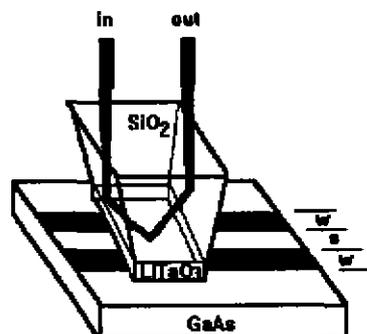


图 1 电光探头结构示意图
Fig. 1 Schematic of electro-optic tip and coplanar stripline

一 RF 放大器 (3GHz 带宽), 这样实验系统测量得到光电探测器的脉冲响应受到放大器及微波调制器 (2GHz) 的带宽限制. 放大的信号经微波调制器, 调制器工作在 100kHz, 用于给锁相放大器提供参考信号, 选择较高频率的参考信号可以减少系统的低频噪声. 为方便测量, 光电器件的响应脉冲再耦合进共面微带线. 共面微带线的电极宽度为 $10 \mu\text{m}$, 间隔为 $20 \mu\text{m}$.

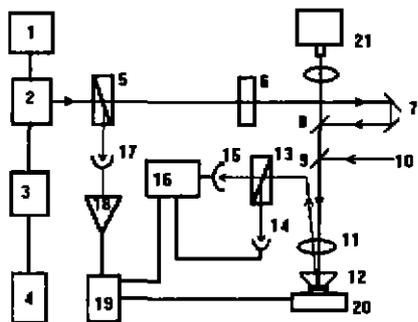


图 2 测量光电器件时系统装置示意图
Fig. 2 Schematic of external electro-optic sampling system for measurement of photodiode

1 直流偏置; 2 激光器; 3 梳状波发生器; 4 微波信号源; 5 起偏器; 6 四分之一波片; 7 延迟线; 8、9 双色镜; 10 照明光束; 11 显微物镜; 12 电光探头; 13 检偏器; 14、15 探测器; 16 锁相放大器; 17 待测器件; 18 放大器; 19 调制器; 20 微带线; 21 红外 CCD 显微成像系统

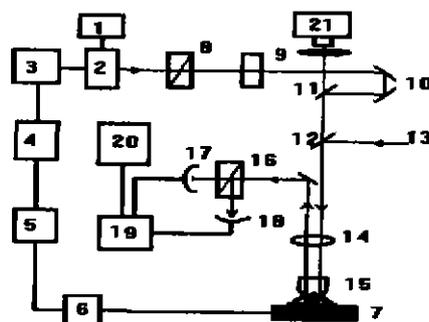


图 3 测量微波器件系统装置示意图
Fig. 3 Schematic of external electro-optic sampling system for measurement of microwave devices

1 恒流器; 2 半导体激光器; 3、5 梳状波发生器; 4 微波信号源; 6 微波调制器; 7 待测微波器件; 8、16 格兰棱镜; 9 $\lambda/4$ 波片; 10 光延迟线; 11、12 介质反射镜; 13、14 红外显微监视系统; 15 电光探头; 17、18 光电接收器; 19 锁相放大器; 20 个人计算机; 21 红外 CCD 显微成像系统

特性阻抗为 50Ω , 电光探头置于微带上方以测量微带上传输的电信号. 同时我们将梳状波信号耦合进微带. 做为简单的无源微波器件, 我们测量了微带上传输的梳状波波形. 根据线性电光效应, 在信号电场的作用下, 电光晶体的折射率将发生变化, 从而改变采样光束的偏振状态, 对采样光束的光强检测便可给出信号电场的变化信息. 光延迟线使得光脉冲对电信号逐点采样, 实现对整个波形的测量.

2 实验结果

图 4 给出外电光采样系统测得光电探测器放大后的脉冲响应, 放大后的脉冲峰值为 150mV , 显示了较低的信噪比. 当把此信号再放大后, 系统测到的二级放大信号波形如图 5 所示. 此时信号峰值为 3V , 信噪比明显改善. 由于第二个放大器的带宽为 1GHz , 受放大器带宽的限制, 图 5 的波形已基本上为一正弦信号, 图 6 为系统测到的微带传输线上的梳状波波形. 图 6 中三条曲线分别对应于电光探头距微带的距离为 $0\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$ 时对同一波

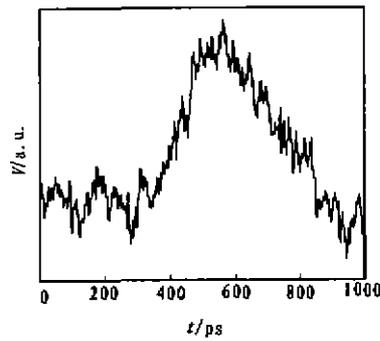


图 4 一级放大后的脉冲响应曲线
Fig. 4 The response curve of detector after one stage of amplification measured by EO sampling

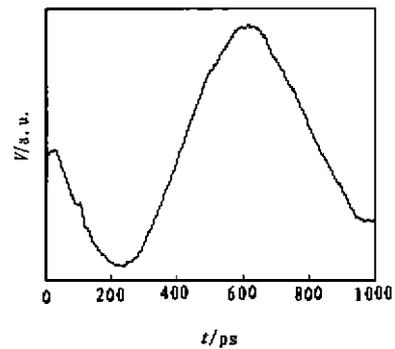


图 5 二级放大后的信号曲线
Fig. 5 The response curve of detector after two stages of amplification

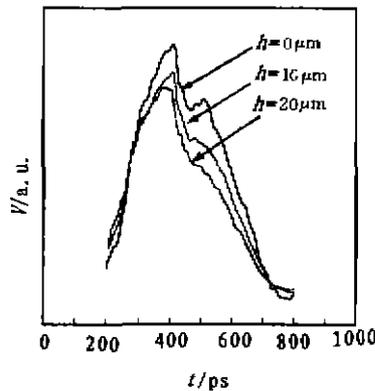


图 6 不同值时系统测得梳状波波形
Fig. 6 Comparison of comb waveform with $h=0, h=10\mu\text{m}, h=20\mu\text{m}$

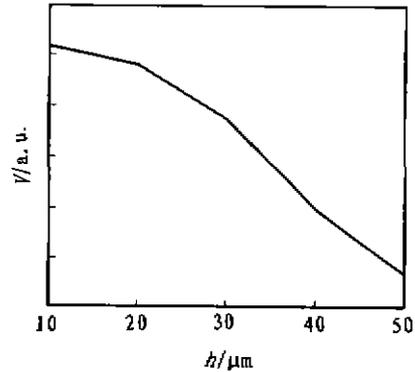


图 7 系统信号输出幅度随 h 的变化曲线
Fig. 7 The EO signal intensity as a function of gap distance

形的测量结果.随着探头距微带的间隙 h 的增加,探头感应电场变弱,造成系统输出幅度降低.当探头临近微带时,测量波形展宽,且出现双峰.这是由于当具有大的介电常数的电光探头(LiTaO₃的相对介电常数43)临近微带时,造成电场介质的不连续,而影响微带的特性阻抗,传输线特性阻抗的突变引起信号波形的反射,经过采样点的反射信号被探测,这样在 $h=0$ 处出现明显的双脉冲波形.图7给出了系统信号输出幅度随 h 的变化关系.

外电光采样系统通过改变电光探头在微带上的位置可方便地表征微带传输线的色散特性,图8为实验测得梳状波信号在微带上传输3.5mm时的波形变化.导体衰减和介质衰减使得传输信号幅度有所降低.信号中低频分量由于具有较低的有效介电常数,沿微带的传输速度较快,而高频分量的有效介电常数增加,传输速度较慢,这样当脉冲传输时,处于波形前沿的低频分量与处于后沿的高频分量存在速度差,使其脉宽轻微变宽,这与测量结果一致.当信号更短时,这种色散现象会更明显.

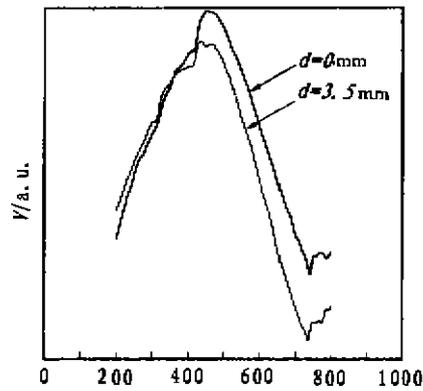


图8 时域内脉冲传输特性
Fig. 8 Pulse shape as a function
of propagation distance

3 结语

由于电光晶体内光电信号作用时间非常短,可不考虑其影响,系统的带宽主要取决于采样窗口的宽度,即光脉冲宽度,18ps的时间分辨率对应的带宽约为18GHz,这样的系统带宽已基本覆盖我国现有高速器件的测量需要.特别地,当使用脉冲压缩技术或直接使用飞秒激光器,采样系统的带宽可达几百GHz.

本文报道了基于1.3 μ m增益开关DFB激光器的外电光采样系统的建立,实验测量了光电探测器及微带传输线的信号波形,并实验分析了探头对测量信号的影响及微波信号的色散效应.

REFERENCES

- 1 Valdmanis J A, Mourou G, Gabel C W. *Appl. Phys. Lett.* 1982, **41**(3): 211~213
- 2 Koner B H, Bloom D M. *IEEE J. Quant. Electron.* 1986, **22**(1): 79~92
- 3 Keil U D, Dykaar D R. in J. Shah and U. Mishra eds. *OSA Proc. on Ultrafast Electronics and Opto-Electronics*, 1993, **14**: 189~191
- 4 WANG Y C, WANG X H, CHEN G F. *Acta Photonica Sinica*(王云才,王贤华,陈国夫.光子学报), 1994, **23**(4): 59~65
- 5 Frankel M F, Whitaker J F, et al. *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.* 1991, **1**(3): 60~62
- 6 Dykaar D R, Kopf R F, Keil U D, Laskowski E J. *Appl. Phys. Lett.* 1993, **62**(15): 1773~1780
- 7 ZHANG Y G, ZHENG Z Q, JIANG H Y. *Acta Photonica Sinica*(张永刚,程宗权,蒋惠英.光子学报), 1995, **24**(3): 223~225

EXTERNAL ELECTRO-OPTIC SAMPLING SYSTEM WITH A 1.3 μm GAIN-SWITCHED DFB LASER DIODE*

WANG Yun-Cai WANG Xian-Hua CHEN Guo-Fu

*(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of
Optics & Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710068, China)*

Abstract An external electro-optic sampling system using a LiTaO₃ tip with a gain-switched DFB laser diode was described. The 1.3 μm ultrashort optic pulses were used to perform electric pulses via the Pockels effect in LiTaO₃ tip. The response curve of a high speed detector and the propagation dispersion of a coplanar strips were measured by this system. The bandwidth of 18GHz was confirmed with this system.

Key words electro-optic sampling, semiconductor laser, gain-switched laser diode.

* The project supported by the Climbing plan of China
Received 1996-11-08, revised 1997-02-03