

用半导体激光器超高速电光采样 技术测量微波信号

孙伟 衣茂斌 王艳辉 刘宗顺 贾刚 高鼎三

(吉林大学电子科学系, 吉林, 长春, 130023)

摘要: 利用半导体激光器作为采样光源的超高速电光采样测试系统(时间分辨率最高可达16.7 ps, 电压灵敏度为 $0.26 \text{ mVHz}^{-1/2}$)。测量了1~5 GHz的微波信号和同轴电缆传输线的色散展宽。

关键词: 电光采样, 半导体激光器, 微波信号, 色散展宽。

引言

超高速器件和微波集成电路的迅速发展, 要求测量技术具有非常高的时间分辨率, 能够对高速集成电路的动态特性进行无干扰检测。近年来发展起来的超高速电光采样技术^[1,2]以超短光脉冲作为采样脉冲, 利用电光晶体的普克尔效应实现对超高速电信号波形进行无干扰测量, 并具有极高的时间分辨率。在电光采样技术中, 以半导体激光器作为采样光源是实现实用化测量仪器的研究方向。我们成功地研制了超高速电光采样测量装置。采样源使用的是波长为 $1.3 \mu\text{m}$ InGaAs P / InP 掩埋新月形激光器。分析研究了测试系统的时间分辨率和电压灵敏度, 测量了1~5 GHz的微波正弦信号; 利用 HP33005C 梳状脉冲发生器产生的超高速电信号, 对高频同轴传输线的色散特性进行了研究。

1 电光采样系统

电光采样测试装置结构如图1所示。由主控信号源输出的信号分为两路, 一路驱动增益开关半导体激光器, 产生皮秒光脉冲作为采样光脉冲; 另一路信号经 PIN 调制器进行开关调制后用于同步驱动待测电路, 待测的快速电信号经 SMA 连接器和宽频带微波电缆传输到采样器上。采样器是在双面抛光的半绝缘 GaAs 衬底上制作的等效阻抗为 50Ω 的微波带。采样测量的扫描是通过光学延迟的方法实现的, 可变光延迟器由迈克尔逊干涉仪可动臂改装而成。采样光束经过光学延迟器, 通过棱镜起偏器和 $\frac{1}{4}$ 波片, 将入射的线偏

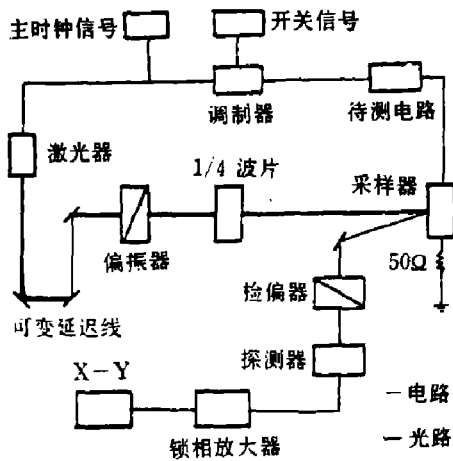


图1 电光采样测量系统结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of electro-optic sampling system for the measurement of fast electrical waveform

振光变换为圆偏振光, 然后用显微物镜将光束透过采样器微波带边缘场聚焦到 GaAs 衬底的下表面上. 当微波带通过电信号时, GaAs 晶体在电场作用下产生双折射变化, 使圆偏振的采样光变成椭圆偏振光, 由 GaAs 微波带底板反射回来的采样光束, 经过检偏器检测椭圆偏振程度, 然后用“慢”探测器和精密锁定放大器接收放大光电信号. 用开关信号源的同步输出作为锁定放大器的参考信号. 用步进电机带动光学延迟器使采样光脉冲对待测信号进行扫描. 用 X-Y 记录仪记录采样信号, 画出待测信号的波形.

用高速 GaAs 或 InP 集成电路芯片元件间的连线代替采样器微波带, 用该取样方

式可以实现对集成电路动态特性进行无触点检测.

2 测试系统分析

2.1 采样光源和系统的时间分辨率

测试系统中使用波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP / InP BC 激光器作为采样光脉冲源. 用电流激励增益开关法获得超短光脉冲. 使用的器件直流阈值为 $20 \sim 25 \text{ mA}$, 腔长为 $200 \sim 250 \mu\text{m}$. 激光器直流偏置在 $1 \sim 2$ 倍阈值之间, 迭加的微波功率控制在 0.5 W 左右. 产生的光脉冲重复频率在 $1 \sim 6 \text{ GHz}$ 范围内连续可调, 平均光功率为 $0.5 \sim 2 \text{ mW}$. 用二次谐波强度自相关装置测量光脉冲强度的自相关函数, 确定光脉冲宽度(FWHM)为 $16 \sim 23 \text{ ps}$.

电光采样测试系统的时间分辨率主要受光渡越时间, 电渡越时间, 光脉冲之间的时间抖动和光脉冲宽度的限制. 对于所建立的测试系统, 电渡越时间为 fs 量级, 光脉冲之间的时间抖动小于 1 ps , 对时间分辨率的贡献很小, 可以忽略. 光渡越时间是指采样光脉冲上一固定相点穿过采样器电光介质内微波带边缘场所需的时间. 对于我们采用的纵向取样方式, 光渡越时间由 GaAs 微波带衬底厚度决定. 对于使用的 $200 \mu\text{m}$ 厚衬底, 光渡越时间为 5 ps 左右. 按平方律公式计算, 对应最窄光脉冲宽度为 16 ps 时, 系统的时间分辨率为 16.7 ps .

2.2 电压灵敏度

测试系统的电压灵敏度是指被测信号与系统的噪声信号相等时可探测的电压值, 即最小可探测电压. 实验时我们通过测量 4 GHz 微波信号来确定电光采样测量的电压灵敏度. 用高速采样示波器 (上升时间为 25 ps) 监测采样器上待测信号的大小, 当信号的峰-峰电压值为 1 mV 时, 电光采样测量信号的信噪比接近 1. 为了保证测量结果的准确, 用微波小功率计监测信号功率, 换算后的信号幅值与高速采样示波器的测量值相符. 由于噪声电压与信号探测带宽的平方根成正比, 测量时信号接收单元的噪声等效带宽为 14.3 Hz ,

从而确定的最小可测电压 $V_{\min} = 0.26 \text{ mV/Hz}^{-1/2}$, 可见电光采样测试系统的电压灵敏度是较高的, 可以满足测量微波集成电路芯片内部信号 (典型值约为 $0.2 \sim 2 \text{ V}$) 的需要。

3 实验结果

用电光采样技术测量超高速器件或微波集成电路时, 要求采样测量频率与被测器件的工作频率或集成电路的时钟频率同步。电光采样测量的工作频率范围由光脉冲的重复频率决定。所使用的波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 增益开关半导体激光器可在 $1 \sim 6 \text{ Hz}$ 范围产生单发脉冲, 并且重复频率任意可调。我们对 $1 \sim 5 \text{ GHz}$ 的微波信号进行电光采样测量, 图 2 为 5 GHz 信号电光采样测量波形。测量结果表明, 所建立的电光采样测试系统可在 $1 \sim 5 \text{ GHz}$ 范围内有效地工作。

实验时, 我们用 HP33005C 型梳状脉冲发生器产生的超快速电信号研究了高频同轴电缆的色散展宽。

将 HP33005C 发生器直接与采样器相连, 测出器件产生的超短电脉冲波形如图 3(a) 所示。电脉冲波形的宽度 (FWHM) 为 43.7 ps 。再将梳状脉冲发生器经一段高频同轴电缆传输线 (两端有 SMA 型接插头, 长 25 cm) 与采样器相连, 测出的电脉冲波形如图 3(b) 所示。电脉冲经同轴电缆传输后被色散展宽, 展宽后脉冲宽度 (FWHM) 为 53 ps 。

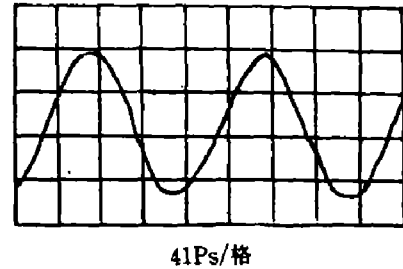
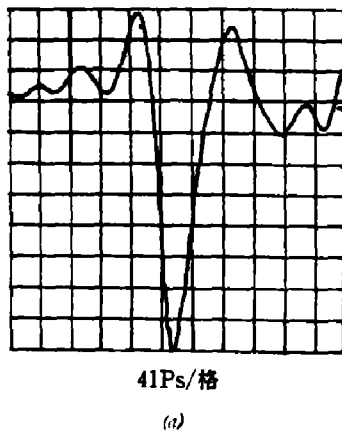
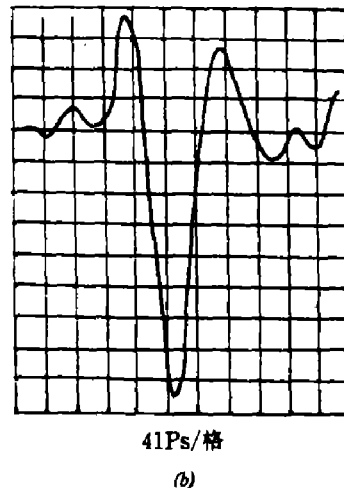


图 2 电光采样测量 5 GHz 信号波形
Fig.2 5 GHz sinusoid waveform measured by the electro-optic sampling system



(a)



(b)

图 3 (a) HP33005C 电光采样测量的波形; (b) 经同轴电缆色散展宽后 HP33005C 的电光采样测量的波形

Fig.3 (a) Waveform of the HP33005C by electro-optic sampling
(b) Dispersion of the coaxial cable by electro-optic sampling

参 考 文 献

- 1 Taylor A J et al. *Electron. Lett.*, 1986, 22(2): 61
- 2 Taylor A J et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, 24(2): 226

ELECTRO-OPTIC SAMPLING MEASUREMENT OF MICROWAVE SIGNALS USING A SEMICONDUCTOR LASER

Sun Wei, Yi Maobin, Wang Yianhui
Liu Zhongshun, Jia Gang, Gao Dingsan

(Department of Electronic Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130023, China)

Abstract: By using the ultrafast electro-optic sampling system with temporal resolution as high as 16.7 ps and voltage sensitivity of $0.26 \text{ mVHz}^{-1/2}$, in which a semiconductor laser of $1.3 \mu\text{m}$ wavelength is used as a source of sampling, the microwave signals of 1 ~ 5 GHz and the dispersive characteristics of the coaxial cable have been measured.

Key words: electro-optic sampling, semiconductor lasers, microwave signals, dispersion extension.