

189-192

⑥

倍频移相扫描法电光采样测量

田小建 衣茂斌 孙伟 贾刚 孙建国

(集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区, 吉林, 长春, 130023)

马振昌^V

(电子工业部第13研究所, 河北, 石家庄, 050051)

TN430.7

A **摘要** 分析了倍频移相扫描法的工作原理, 介绍了用倍频移相扫描法构成的电光采样测量系统. 测量了高速 GaAs 动态分频器集成电路芯片, 并给出分频关系波形的测量结果.

关键词 移相扫描, 电光采样, 集成电路芯片, 分频

引言

近年来发展起来的电光采样技术, 集光机电技术为一体, 是高速集成电路和微波单片集成电路(MMIC)在片无侵扰检测的最佳手段, 因此受到国内外光电子领域的高度重视. 由于它采用半导体激光超短光脉冲作为采样脉冲, 被测信号以光的形式进行耦合, 所以, 传统的采样门已不复存在. 对于以 GaAs 为衬底的一类集成电路, 其晶体具有电光效应, 制成的集成电路芯片自身构成一个普克尔盒, 适当选择激光的波长, 即可成为良好的检测传感器. 为了检测集成电路芯片内部各单元的动态特性, 可用微波探针以最佳匹配方式驱动集成电路, 使其处于正常的工作状态, 然后将激光束聚焦后射入芯片内部有关结点. 在激光通过晶体时, 受到测试点信号电场的调制, 从而完成对该点信号的采样. 这种采样方式不影响测试点周围电场的分布, 不会引起电荷移动, 因此是一种无侵扰检测. 根据入射光的不同方向, 通常分为正面电光采样和反面电光采样, 分别适用于集成电路的不同结构形式. 研究集成电路芯片内部结点的动态特性, 观察该点的时域波形是最直接的途径. 为了观察波形, 必须选择适当的扫描方式. 因此, 半导体激光器及其精密光学机械系统、宽频带多触点微波探针和准确的时间扫描单元是构成实用电光采样系统的三大要素. 由于被测信号频率较高, 实时采样十分困难, 所以必须采用变换采样和同步扫描. 依变换采样模式的不同, 相应的扫描方式也不尽相同. 通常有三种方法: (1) 差频法; (2) 光学延迟法; (3) 电子移相法^[1~3]. 目前, 国外多采用前两种方法. 我们在光学延迟法电光采样测量研究的基础上, 采用 360°线性移相器实现了电子移相扫描, 收到了良好效果.

1 移相扫描的基本原理

移相扫描的基本原理是利用被测信号的同步脉冲进行采样. 最简单的情况是二者同频

率. 设被测信号 $g_1(t)$ 的表达式为

$$g_1(t) = V_m \cos[\omega_c t + \phi(t)],$$

采样脉冲 $\delta_T(t)$ 的表达式为

$$\delta_T(t) = \sum \delta(t - nT_0),$$

式中 $T_0 = 2\pi/\omega_c$, 因此采样信号 $V(t)$ 的表达式为

$$V(t) = g_1(t)\delta_T(t) = V_m \sum \cos[\phi(nT_0)]\delta(t - nT_0). \quad (1)$$

由式(1)可见, 采样脉冲在信号每一周期采样一次. 若 $\phi(nT_0)$ 是常数, 则采样值将是信号某一相位点的恒值. 若选 $\phi(t)$ 为时间的线性函数, 则信号每一周期相位增加 $\Delta\phi$. 当 $\phi(nT_0)$ 由 0 增至 2π 时, 刚好等间隔地对信号整个周期进行采样. 即此时相当于等效步进采样. 这里 $\phi(t)$ 由 360° 线性移相器来实现. 用一扫描锯齿波电压控制 $\phi(t)$, 即可实现线性扫描.

设扫描正程为 T_s , 对应 $\phi(t)$ 变化 2π , 则在 M 个信号周期内获得等效采样点数为 M , 且

$$M = T_s/T_0, \quad (2)$$

相应的等效采样间隔为 Δt , 且

$$\Delta t = T_0/M = T_0^2/T_s. \quad (3)$$

上述分析均为理想情况, 通常采样脉冲不是冲激函数, 而是有一定脉宽 τ . 当 $\tau \geq \Delta t$ 时, 会出现同一点重复采样现象, 其重复次数 $N = \tau/\Delta t$. 根据取样理论中的 \sqrt{N} 法则, 信噪比改善为

$$\sqrt{N} = \sqrt{\tau/\Delta t} \sqrt{\tau T_s/T_0^2}. \quad (4)$$

由式(4)可见, 在 τ 和 T_0 一定的情况下, 增大扫描周期 T_s , 可提高信噪比, 但增加了测量时间.

根据上述分析, 同频移相扫描, 每一扫描周期只能观察一个周期的波形. 为了观察多个周期波形信号, 必须采取倍频移相扫描法, 即取信号频率为采样脉冲频率的整数倍. 令 K 倍频信号为 $g_k(t)$, 且

$$g_k(t) = V_m \cos[K\omega_c t + K\phi(t)],$$

而采样脉冲仍为

$$\delta_T(t) = \sum \delta(t - nT_0),$$

根据上面同样的分析方法, 可得到采样信号 $V_k(t)$ 的表达式为

$$V_k(t) = V_m \sum \cos[K\phi(nT_0)]\delta(t - nT_0), \quad (5)$$

当扫描周期仍为 T_s 时, 对应的 $\phi(t)$ 变化范围将变为 $2K\pi$, 即扫描一个周期, 可观察 K 个周期信号波形. 电光采样系统中的 $V_k(t)$ 是携带有波形信息的采样光脉冲序列, 相当于脉冲幅度调制信号(PAM). 这一 PAM 信号通过慢光探测器, 相当于低通滤波器, 即可恢复被测信号的波形. 值得注意的是, 采用倍频移相扫描法, 必须使被测信号和采样脉冲保持同步关系, 并且使被测信号频率为采样脉冲重复速率的整数倍. 否则, 每次扫描得到的采样脉冲序列将是不同的, 经低通滤波器平均后将失去原信号波形信息. 我们在实验中也证明了这一点.

2 测量系统的构成

采用倍频移相扫描法构成的电光采样测量系统如图 1 所示. 与同频移相扫描法相比, 增加了倍频器. 微波信号源分为两路, 其中一路经移相、倍频、斩波后通过微波探针馈入被测集成电路芯片. 集成电路的各种直流偏置也是通过微波探针提供的, 因此完成了集成电路芯片的在片驱动. 信号源发出的信号经另一路驱动半导体激光器产生超短光脉冲, 其重复速率等于微波信号的频率, 脉宽为 15ps. 由于两路信号来自同一信号源, 从而使被测信号与采样脉冲具有同步关系. 激光器发出的激光经准直、聚焦, 通过 1/4 波片、1/2 波片以及分束器形成采样光束, 从集成电路芯片背面进行反射式电光采样. 采样光束经测试点信号调制后反射回分束器, 由慢光探测器接收, 转换成电信号馈入锁相放大器. 整个光学系统必须精密、紧凑、可调. 扫描发生器、移相器、倍频器组成移相扫描单元, 与同步示波器一起完成时间扫描及波形显示的任务. 斩波器、脉冲发生器和锁相放大器主要对弱信号进行相干检测和放大. 不同的电光采样系统对弱信号的检测和放大模式也不尽相同^[4]. 在这个测试系统中, 各种系统参数的设置都不是独立的, 必须根据被测电路的工作频率、输入功率以及整个测量系统的信噪比综合考虑. 为了使被测的 GaAs 集成电路芯片具有普克尔效应, 我们选取激光器的波长为 $1.3\mu\text{m}$. 从提高信噪比的角度考虑, 取扫描频率为 1Hz. 由于测量系统采用的是反面电光采样模式, 因此特别适合于测量背面无金属的集成电路芯片.

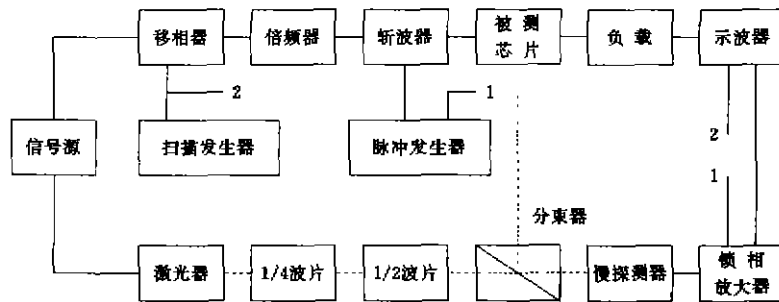


图 1 倍频移相扫描法电光采样测量系统

Fig. 1 The electro-optic sampling measurement system with multiple frequency phase-shift scanning

3 测量结果

用上述测量系统, 我们对典型的高速动态四频频 GaAs 集成电路芯片进行了测量. 该四频频器内部由两级动态二分频电路构成. 工作频率范围在 2.2~3.0GHz, 视输入功率大小而定. 在测量中, 我们选取信号频率为 1.2GHz, 经二倍频后产生 2.4GHz 的驱动信号. 适当选取驱动信号功率, 我们观察到了其中一级二分频电路的输入、输出波形(见图 2). 图 2 中准确地反映了二分频的逻辑关系, 其中输入波形的某些失真是倍频器引起的高次谐波造成的. 这种实验结果与我们的理论分析是一致的. 我们的理论分析和实验结果都证明, 在同频

移相扫描测量中是不能观察到上面的分频关系.若要观察K分频关系,则必须采用K倍频移相扫描.根据同样的道理,同频移相扫描法可以测量倍频器电路,但不能测量分频器电路.从理论上说,若在同频移相扫描法测量系统组成中,在激光器之前插入一级K分频器,则可构成倍频移相扫描法的另外一种系统组成形式.两种组成形式是等效的.倍频移相扫描法的另一优点是可以使激光器工作在较低的重复速率上,这对于产生超短光脉冲是有利的.因此,我们可以用较低重复速率的激光器完成对频率较高的集成电路芯片的测量.

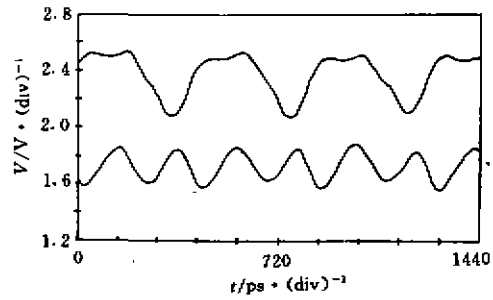


图2 二分频单元输入输出波形
(等效扫描时间 144ps/div)
Fig. 2 The waveform at the input and output of the 2-division unit (the equivalent scanning time is 144ps/div)

参考文献

- 1 Nees J, Mourou G. *Electron. letter*, 1986, **22**(17):918~919
- 2 Wiesendfeld J M. *Appl. Phys. lett.*, 1987, **50**(19):1310~1312
- 3 Kolner B H. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1986, **QE-22**(1):79~92
- 4 Heutmaker M S. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **QE-24**(2):226~232

THE ELECTRO-OPTIC SAMPLING MEASUREMENT WITH MULTIPLE FREQUENCY PHASE-SHIFT SCANNING METHOD

Tian Xiaojian Yi Maobin Sun Wei Jia Gang Sun Jianguo

(National Integrated Optoelectronics Key Laboratory, Experimental Region of Jilin University, Changchun, Jilin 130023, China)

Ma Zhenchang

(13th Institute of Electronic Ministry, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

Abstract The principle of multiple frequency phase-shift scanning method was analyzed. The electro-optic sampling system constructed with the multiple frequency phase-shift scanning method was introduced. An integrated circuit chip of high-speed GaAs dynamic frequency dividing circuit was measured, and the measured frequency dividing waveform was presented.

Key words phase-shift scanning, electro-optic sampling, integrated circuit chip.