

基于光探针的超高速波形数字化测试系统的应用¹

田小建 张大明 高艳君 李德辉 衣茂斌

(集成光电子国家重点联合实验室吉林大学实验区 吉林大学电子工程系 长春 130023)

摘 要 介绍了基于光探针的超高速波形数字化系统的结构。采用倍频移相扫描法测量了高速集成电路芯片各级的功能。分析了芯片故障产生的原因和光探针测量的特点。

关键词 光探针, 电光采样, 集成电路芯片

中图分类号 TN43, TN29

1 引言

利用半导体晶体的电光效应, 通过激光束直接拾取集成电路芯片内部电信号, 是近年来发展起来的一项电光测量新技术。随着集成电路集成度的不断提高, 芯片内微带线尺寸越来越小。为了对芯片内部点进行检测, 必须采用非接触式探测方法, 而光探针是实现这种检测的唯一方法。经过准直聚焦的激光束直径可小于几个微米, 完全可以测量相应尺寸的集成电路芯片。在已报道的电光实验中, 光探针直接作为检测信号的载体, 而信号拾取必须通过电光晶体传感器来实现。对于以 GaAs 晶体为衬底的集成电路芯片, 其衬底本身就是电光传感器。它的基本原理是利用纵向普克尔效应实现电光转换^[1]。在用光探针对集成电路芯片进行测量和分析时, 主要是显示测试点的波形。由于高速电子学及其显示技术的限制, 目前尚不能对几吉赫的高速信号直接进行扫描和显示。在国内外已报道的电光测量系统中, 无一例外地均采用变换取样技术。它将高速信号变成慢信号, 从而实现扫描和显示。根据取样理论, 皮秒脉宽的光脉冲可测几十吉赫的高速信号。这对目前高速电子学的发展水平来说已是足够了。因此, 用光探针进行集成电路芯片功能测试和故障分析时, 必须解决三个方面的问题: (1) 产生稳定超小直径光探针光学系统; (2) 高精度集成电路芯片定位系统; (3) 信号检测和波形记录系统。我们经过几年的研究和探索, 研究设计了一套基于光探针的高速波形记录系统, 并对高速集成电路芯片进行了测试, 收到了较好的效果。

2 系统原理和结构

测试系统原理如图 1 所示。由半导体激光器和光学组件组成了小型光学系统, 它的特点是小型化和实用化。光探针由待测芯片的背面入射, 再由正面的金属微带线上反射回来。在这个过程中, 光强受到测试电信号电场的调制, 即所谓内部电光采样^[2]。携带信号的光束经分束器进入光探测器。半导体激光器在微波信号的驱动下, 产生波长为 $1.3\mu\text{m}$ 、脉宽为 17ps 的同步超短光脉冲, 功率约几毫瓦。根据取样定理, 等效采样周期为 17ps, 最高测量信号带宽可达 29GHz。超短光脉冲与测试信号同步, 可以保证在每个信号周期内对信号取样一次, 并且有绝对的相位参考点。这个问题稍后在移相扫描部分还要详细说明。

¹ 1998-06-22 收到, 1999-04-19 定稿

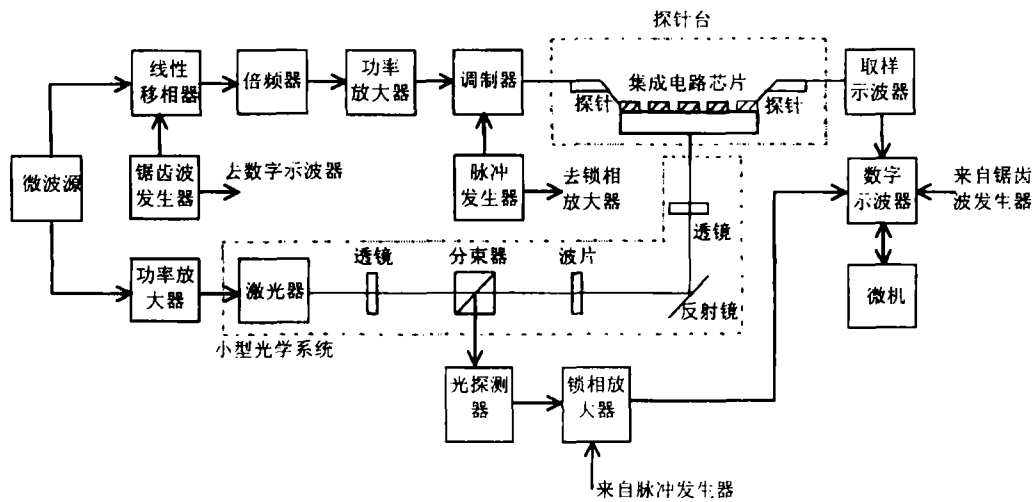


图1 实验系统框图

待测集成电路芯片装载在探针台上,微波探针向芯片提供直流偏置和微波信号,芯片输出信号通过另一微波探针连接到等效负载上。探针台上的载片台可在 X 、 Y 方向作微米级水平移动,而光探针则保持不动。这样的结构保证了光探针在不同的测试点都有同样的垂直入射角,同时也提高了系统的稳定性。探针台上方还包括摄像机和监视器,用于观察探针在芯片的不同位置,图中已略去。这种设计与其他已报道的电光测量系统有所不同,它更趋于小型化和实用化。

信号检测和波形显示是整个系统的重要组成部分。线性移相器在扫描锯齿波的控制下,对测试微波信号连续 360° 相移,使取样光脉冲在整个信号周期内逐点取样并扫描整个信号波形,这就是所谓变换取样。倍频器将移相后的信号频率增加 M 倍,这样在一个扫描周期内可以观察到 M 个信号波形。扫描系统与一般的通用示波器不同,它不使用内时基单元,而是基于测试信号的自时基系统。设测试信号频率为 f_0 , 周期 $T_0 = 1/f_0$, 锯齿波频率为 f_s , 周期 $T_s = 1/f_s$, 则 $T_s = kMT_0$, 其中 $k = T_s/(MT_0)$ 为定标因子。这种自时基系统必须用频率计或频谱仪测出测试信号频率 f_0 , 所以示波器显示的时间再除以定标因子 k 才是实际测量时间。

信号检测的关键是提高信噪比。整个系统从三个方面来解决这个问题。首先移相扫描相当于对同一点重复采样 N 次,根据 \sqrt{N} 法则,信噪比改善了 \sqrt{N} 倍。其中 $\sqrt{N} = \sqrt{\tau T_s/T_0^2}$,

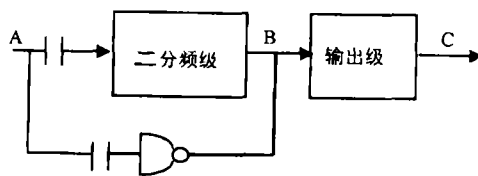


图2 二分频器原理框图

τ 为取样脉冲宽度^[3]。其次用调制器和锁相放大器进行同步检测,这种窄带化方法仍是一种弱信号检测的有效方法。最后用数字存储示波器进行数字平均处理。取样示波器作为待测芯片的等效负载,同时也是为了与系统测试的波形进行对比。取样示波器测得的波形通过数字存储示波器存入微机。

3 动态二分频器测量

用光探针测量集成电路芯片,从理论上说就是用基于光探针的取样示波器进行时域测量。我们可以把探针移到电路的各个关键点,通过各点的波形分析电路的工作状态。但对于高速集成电路芯片测量,则与低频电路的示波器测量有所不同。我们以动态分频器的测量来说明这个问题。

典型的二分频器电路如图 2 所示。在双相脉冲的激励下,二分频器的分频信号经输出级输出。其中非门电路是用来提供反向脉冲的。我们用光探针已测出它的输入和输出波形,证明其工作是正常的。我们还观测到了 A、B 和 C 点的波形,如图 3 所示。输入信号频率 $f_0 = 2.3\text{GHz}$, 扫描锯齿波频率 $f_s = 0.566\text{Hz}$, 系统中使用 2 分频器, $M = 2$, 因此定标因子 $k = 1.016 \times 10^9$ 。由图 3 可以看出,分频级工作正常,但输出级 C 波形异常。为进一步分析,我们用频谱仪观察输出级有两个谱峰,分别是 1.15GHz 和 2.3GHz , 但分频信号 1.15GHz 谱峰很低。对波形 C 进行 FFT 变换也证实了这一点。经分析这是由信号的直通效应引起的。输出级信号有两种成份,其一是由输入 B 引起的,另一频率成份是信号由 A 直通到 C 点的。直通信号是芯片内部固有的,当输出级工作异常时,它对输入信号 B 进行衰减。直通信号是由于芯片尺寸较小,信号频率较高,经内部微带线耦合过去的。对此我们还做了另外一个专门实验。在一个专门设计的共面波导上,用光探针测出波导上的波形,然后将波导中心导体划断,用光探针仍能测出信号波形,只是信号幅度约为原来的 $1/8$ 。集成电路芯片内部布充满了各种微带线,信号的直通耦合是不可避免的。如果芯片各级工作正常,这种直通信号是可以忽略的。为了证实光探针测量的真实性,我们用取样示波器测得 A 点和 C 点的波形,如图 4 所示。图中波形与光探针测得的结果是一致的。当我们把芯片直流电压调低时,二分频器停止工作, C 点波形变成单频直通信号。

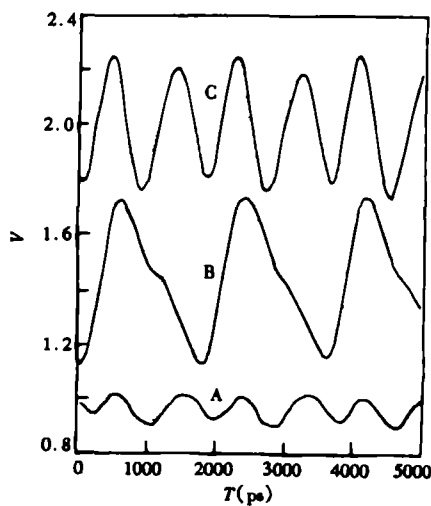


图 3 用光探针测量的信号波形

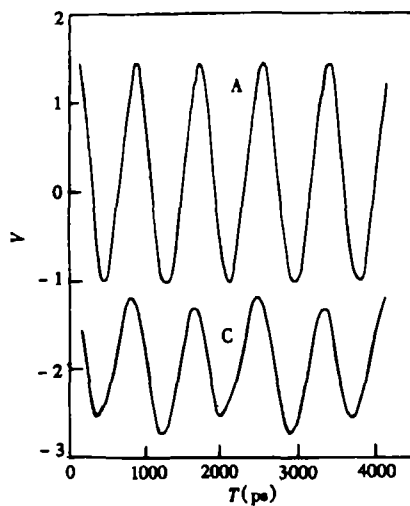


图 4 用取样示波器测量的信号波形

4 结 论

光探针是直接测量 GaAs 集成电路芯片的一种有效方法。它的系统有不同的组成形式,但本质上是一个基于光探针的高速波形数字化系统。芯片内微带线尺寸小、工作频率高是这种检测的特点。因此它有别于低频电路的示波器测量方法。通过逐级测量集成电路芯片,可以确定各级电路功能的有无以及故障所在。利用光探针还可以对硅集成电路芯片进行测量,

只是必须采用外电光采样方法^[4]。在本系统中,若设计增加外电光采样头,适当改造光学系统,同样可以测量硅集成电路芯片。目前,这部分工作正在进行当中。

参 考 文 献

- [1] Kolner B H, Bloom D M. Electronic sampling in GaAs integrated circuits. *IEEE J. of QE.*, 1986, QE-22(1): 79-93.
- [2] Duvillaret L, Lourtioz J M, Chusseau L. Absolute voltage measurements on III-V integrated circuits by internal electro-optic sampling. *Electron. Lett.*, 1995, 31(1): 23-24.
- [3] 田小建, 衣茂斌, 等. 倍频移相扫描电光采样测量. *红外与毫米波学报*, 1997, 16(3): 190-192.
- [4] Mitsuru S, Tadao N. An automated electro-optic probing system for ultra-high-speed IC's. *IEEE Trans. on Instrum. Meas.*, 1994, IM-43(6): 843-847.

APPLICATION OF ULTRA-HIGH SPEED WAVEFORM DIGITIZED SYSTEM TO IC BASED ON LASER PROBE

Tian Xiaojian Zhang Daming Gao Yanjun Li Dehui Yi Maobin

*(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Jilin University Region,
Department of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023)*

Abstract This paper introduces the construction of the ultra-high speed waveform digitized system based on laser probe. The functions of different stages of the high-speed dynamic divider circuit chip are measured with the double-frequency phase sweeping technique. A detail analysis about the chip failure and the characteristics of laser probe measurement is given.

Key words Laser probe, Electrooptic sampling, Integrated circuit chip

田小建: 男, 1957年7月生, 副教授, 从事无线电电子学专业的教学与科研工作。主要研究方向为弱信号检测与信息处理。1992年参加国家八六三项目“半导体激光器高速电光采样仪”的研究工作。1994年获“模拟式360度反射型线性移相器”等三项国家教委科技鉴定成果。其中“模拟式360度反射型线性移相器”1996年6月获国家专利。现在正开展高速集成电路计算机辅助电光测量的研究工作。

张大明: 男, 1970年生, 博士生, 讲师。现从事光电子学专业研究工作。

高艳君: 女, 1973年生, 电路与系统专业硕士生。