

共面微波探针在片测试技术研究

孙 伟,田小建,何炜瑜,张大明,李德辉,衣茂斌

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

摘 要: 本文描述了使用共面微波探针的半导体芯片在片测试技术.设计研制出的多种微波探针性能参数稳定,使用寿命在十万次以上,用于在片检测各种 GaAs 共面集成电路芯片.触头排列为 GSG 的微波探针, - 3dB 带宽及反射损耗分别为 14GHz 和小于 - 10dB.

关键词: 微波探针;在片测试;半导体集成电路

中图分类号: TN454 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 02-0222-03

On-Wafer Measurement Techniques Using Coplanar Microwave Probe

SUN Wei, TIAN Xiao-jian, HE Wei-yu, ZHANG Da-ming, LI De-hui, YI Mao-bin

(National Integrated Optoelectronic Union Laboratory Jilin University Region, Jilin University, Changchun 130023, China)

Abstract: We present an on-wafer measurement technique of semiconductor wafer using special coplanar microwave probes. The probe parameters are repeatable enough for S-parameter measurements and the probe life is with 100,000 contacts guaranteed. The multi-contact microwave wafer probe has been developed for on-wafer testing and sifting of GaAs integrated circuits with coplanar type. The insertion loss of microwave probe with a GSG footprint pattern is typically less than 3.0dB, and the return loss is at least 10dB at frequencies below 14GHz.

Key words: microwave probe; on-wafer test; semiconductor integrated circuit

1 引言

准确测量芯片的高频特性以改进设计和制造工艺,是发展高速和微波集成电路的重要条件之一.在微波探针出现之前,无法在封装前使集成电路芯片高速运转并对它进行高频特性测试,而只能根据芯片的静态参数,在封装后进行高频测试筛选,判断芯片的优劣.这会造成微波封装工序的浪费,而且无法判断封装对高频性能的影响.

微波探针是共面型半导体集成电路在片检测的重要工具之一.使用微波探针在片检测技术,可在半导体芯片分割与封装之前,在芯片上直接测定集成电路或器件的高频特性,从而实现在片筛选.对于改进管壳的微波封装和确定电路或器件的工作模型都具有重要的意义.

本文在保角变换法分析有限地平面共面波导参数的基础上,研制的触头排列 GSG 微波探针,其 - 3dB 带宽及反射损耗分别为 14GHz 和小于 - 12dB;使用寿命在十万次以上.已对 GaAs 单片集成激光器驱动电路、四 - 2 输入或非门电路和超高速动态分频器等高速集成电路芯片的动态特性进行了在片检测并完成了在片筛选.

2 共面微波探针的设计原理

要实现高速和微波集成电路的在片检测,必须将直流至

微波频率范围内的测量信号,在阻抗匹配的状态下输送到几十微米的半导体芯片压焊点上,并输出到测量仪器.微波探针就是实现微波同轴传输系统到待测半导体芯片压焊点之间的宽频带匹配传输的过渡器.这种过渡器必须具有多个触点且触点间距与芯片压焊点的间距相匹配,同时还要保证待测芯片与同轴电缆之间的阻抗匹配.普通的钨针在微波频率下使用,会引入严重的寄生阻抗,使微波信号无法传输,因此必须用特殊设计制作的微波探针解决这个问题.

共面微波探针在设计 and 制作上要实现微波频段内的宽频带,低损耗,低反射和芯线间小的电串扰等特性.设计的关键是如何精确确定探针板上的共面波导传输线参数.

共面波导传输线工作在弱色散区时,其准 TEM 波与无色散的 TEM 波非常接近.作为零阶近似,可以当作 TEM 波来分析,这种方法称为准静态分析法.计算准静态情况下共面波导的电场可用复变函数保角变换法.在规范图形的情況下保角变换法计算特性阻抗和有效介电常数,不但公式简单、计算量小,而且精确度高.我们采用保角变换法分析有限地平面共面波导参数.

在准静态分析法中,求共面波导的特性阻抗 Z_0 和有效介电常数 ϵ_{eff} 的问题,归结为求共面波导分布电容.中心带条与两接地面之间的电容为 C_0 .它是由没有介质存在时的电容

C_1 和假设电场全集中在介质中的电容 C_2 组成. 电容 C_1 的介电常数为 ϵ_0 , 电容 C_2 的介电常数为 $(\epsilon_r - 1)$.

无衬底介质存在时, 单位长度有限地平面共面波导的线电容 C_1 可应用两次保角变换来求得. 保角变换如图 1 所示.

从变换过程可以得到有限地平面共面波导单位长度的线电容为 Z 平面内四分之一变换的 4 倍, 即:

$$C_1 = 4 \epsilon_0 \frac{K(k_1)}{K(k_1)} \quad (1)$$

这里 $K(k_1)$ 是第一类完全椭圆积分, 且 $K(k) = K(k)$; 其中 k 为模数, k' 为余模数 ($k' = \sqrt{1 - k^2}$); 模数 k_1 与有限地平面共面波导传输结构参数如下^[1]:

$$k_1 = \left[1 + \frac{2a}{2d+b} \sqrt{\frac{(1+b/d)(1+a/d)}{(1+a'/d)(1+b'/d)}} \right] \quad (2)$$

假设电场全集中在介质中时, 单位长度有限地平面共面波导的线电容 C_2 由图 2 所示的保角变换求得. 图 2(a) 中 X 平面上的有限介质边界问题, 使用变换函数 $t = \sin h(x/2h)$ 转换为图 2(b) T 平面上的无限介质边界值问题;

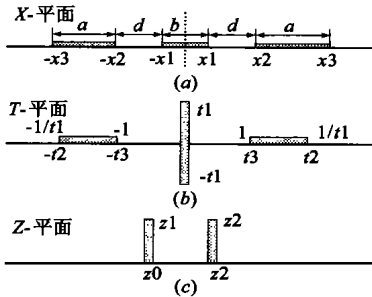


图 1 保角变换计算无介质衬底存在时有限地平面共面波导单位长度的线电容 C_1

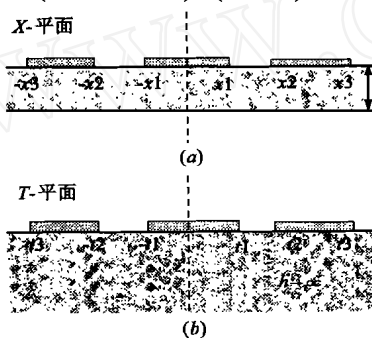


图 2 保角变换计算电场全部集中在介质中时单位长度有限地平面共面波导的线电容 C_2

$$C_2 = 2 \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \frac{K(k_2)}{K(k_2)} = 2 \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \frac{K(k_2)}{K(k_2)} \quad (3)$$

其中模数 k_2 与传输线结构尺寸的关系为:

$$k_2 = \sin h \left[\frac{b}{4h} \right] / \sin h \left[\frac{b}{2h} + d \right] \quad (4)$$

有限地对称共面波导传输线的有效介电常数为

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = 1 + \frac{(\epsilon_r - 1) K(k_2)}{2 K(k_2)} \frac{K(k_1)}{K(k_1)} \quad (5)$$

根据传输线理论,

$$v_{ph} = c / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}, c \text{ 为光速和 } Z_0 = 1 / (C_1 + C_2) v_{ph} \quad (6)$$

有限地对称共面波导传输线的特性阻抗为

$$Z_0 = \frac{1}{(C_1 + C_2) v_{ph}} = \frac{30}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \frac{K(k_1)}{K(k_1)} \quad (7)$$

图 3 是有限地对称共面波导传输线的特性阻抗 Z_0 与有效介电常数 ϵ_{eff} 在 $b/(b+2d)$ 不同情况下的关系曲线. 计算结果分析表明, 传输线的槽宽、地线及基片衬底尺寸不变时, 特性阻抗 Z_0 与有效介电常数 ϵ_{eff} 均随中心带条宽度的增大而减小; 中心带条宽度、槽宽和基片厚度一定时, 特性阻抗 Z_0 与有效介电常数 ϵ_{eff} 则随地线宽度的增大而增大; 在中心带条、槽宽和地线宽度一定时, Z_0 随基片厚度 h 的增大而减小, 而 ϵ_{eff} 则相反, 随基片厚度 h 的变大而增大.

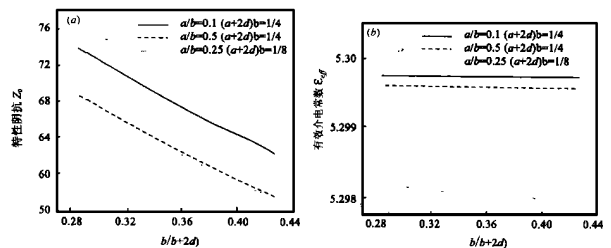


图 3 有限共面波导. (a) 特性阻抗 Z_0 ; (b) 有效介电常数 ϵ_{eff} 随结构尺寸变换曲线

3 微波探针及特性参数测试

共面微波探针由同轴连接器、金属模块和探针板三部分组成^[2]. 探针板是一微波介质基片, 上面带有共面波导传输线, 在测试端装有导电触头. 金属模块用于固定同轴连接器和探针板, 同时起着同轴传输线和共面波导传输线共同地的作用. 金属模块与探针板接触留出槽线, 以避免共面传输线的特性阻抗不偏离设定值. 我们选择高介电常数的微波介质基片, 采用精密光刻和腐蚀工艺制作共面探针板, 达到微波探针器件所需的小尺寸高精度要求. 实践中采用微波复合基片和软硬结合的探针触头, 研制出的微波探针系列成本低, 使用寿命在十万次以上.

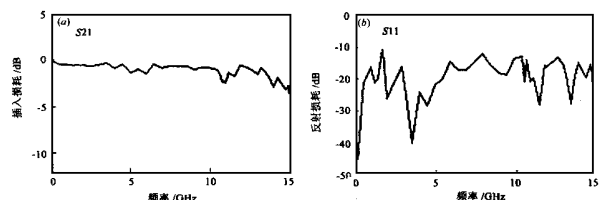


图 4 GSG微波微波探针 S 参数频率特性曲线

在分析有限地平面共面波导尺寸的基础上, 考虑到影响微波信号传输的各种因素, 并根据待测的集成电路芯片压点排布和尺寸, 对应输入和输出压点, 分别设计制作出相应的多种型号的微波微波探针.

微波探针散射参数测试装置包括微波探针台、立体显微镜、校准样片和网络分析仪. 图 4 给出了 GSG 型三触头微波探针 S 参数特性曲线的测试结果. 插入损耗 S_{21} 随频率变化, -3dB 带宽为 14GHz ; 反射损耗 S_{11} 随频率变化, 在 $0.1 \sim 15\text{GHz}$ 频率范围内小于 -10dB , 最小值为 -40dB .

4 在片测试研究

针对 GaAs 单片集成激光器驱动电路、四 - 2 输入或非门电路和高速动态二分频电路等三种集成电路芯片压点的分布和尺寸,设计并研制出相应的微波探针.并在片检测了这些集成电路芯片.

微波探针在片检测 GaAs 单片集成激光器驱动电路芯片测试结果如图 5 所示.电路芯片的输入微波频率为 1.3GHz、幅度为 0.6V 时,输出幅度为 1.6V.图中的曲线 *a* 是输入信号波形,曲线 *b* 为此时芯片的输出波形.微波探针针对 GaAs 单片集成电路芯片的在片测试结果表明,该电路芯片 3dB 带宽可达 3.8GHz,相应的上升、下降时间小于 100ps,单边驱动电流大于 30mA 可用于 2.4Gbit/s 的光通信系统中,在没有使用微波探针之前,只能将电路芯片封装在管壳中进行测量,测得的速率为 800Mbit/s,这说明管壳封装方式已限制了电路的高频

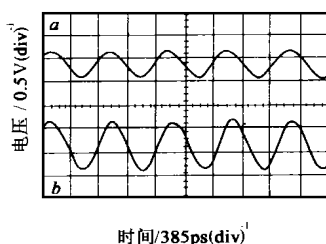


图 5 GaAs 单片集成电路芯片在片测试曲线

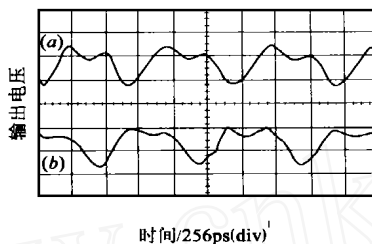


图 6 GaAs 四 - 2 输入或非门电路芯片在片测试曲线

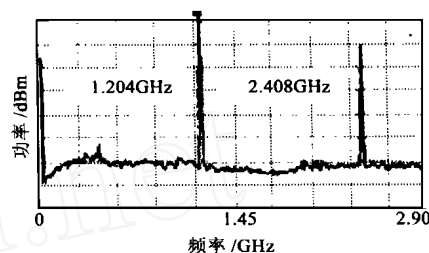


图 7 GaAs 高速动态二分频器电路芯片在片测试曲线

5 结论

用保角变换的准静态分析法分析了有限地平面共面波导结构尺寸对传输线特性的影响规律,并应用于微波探针的设计中.采用微波复合基片和软硬结合的探针触头,研制出的系列微波探针,使用寿命在十万次以上,并具有成本低、无损检测等优点.触头排列为 CSG 的微波探针, - 3dB 带宽及反射损耗分别为 14GHz 和小于 - 10dB;使用相应设计的微波探针,对 GaAs 单片集成激光器驱动电路、四 - 2 输入或非门电路和超高速动态分频器等三种高速集成电路芯片的动态特性进行了在片检测和筛选.

参考文献:

- [1] Veyres, S., et al. Extension of the application of conformal mapping techniques to coplanar lines with finite dimensions [J]. INT. J. ELECTRONICS, 1980, 48: 47 - 56.
- [2] Strid, E. W., et al. A DC-12GHz monolithic GaAsFET distributed amplifier [J]. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, 1982, 29 (7): 1065 - 1071.

特性,必须进行改进,才能在更高速率下使用^[3].

GaAs 四 - 2 输入或非门电路芯片的在片测试结果如图 6 所示.测试条件输入微波频率为 1.3GHz、驱动微波功率 10mW.芯片输出波形见图 6,输出波形用微波探针和 TeK7104 采样示波器测量(曲线 *a*)与使用半导体激光超高速光电采样技术^[4]测量芯片上输出压点处的波形(曲线 *b*)比较,二者相吻合.

使用相应型号的微波探针在片检测了 GaAs 高速动态二分频器电路芯片^[5];高速动态二分频器由 BTL 反相器、FET 传输门、缓冲级和输出级构成.其工作原理是利用栅电容的储存效应,用传输门控制自激多谐振荡器反馈信号的传输实现二分频功能.输入微波频率为 2.408GHz,信号功率 4mW 时,动态二分频器输出频率为 1.204GHz,输出功率为 1.44mW,这时动态二分频器芯片用频谱分析仪测量的典型输出频谱如图 7 所示.

- [3] 孙伟,等. GaAs 单片集成激光器驱动电路在片测量研究 [J]. 半导体学报, 2000, 21(10): 1012 - 1015.
- [4] Maobin Yi, Wei Sun, et al. A practical electro-optic sampling for characterization internal to GaAs ICs [J]. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 1996, 7(3): 463 - 469.
- [5] 孙伟,等. GaAs 高速动态分频器在片测试研究 [J]. 半导体学报, 1996, 17(2): 141 - 144.

作者简介:



孙 伟 博士,现为吉林大学电子工程系和集成光电子学国家重点联合实验室教授,日本 IEICE 学会会员、中国电子学会高级会员,1996 年到 1998 年期间先后在日本千叶工业大学和日本东京大学做访问学者,共发表学术论文 60 余篇,获中国发明专利三项,目前主要从事高速光电子学和光通信技术方面的研究工作.