

2004年上海大学博士学位论文 ②3

微波多芯片组件中互连的 仿真研究

作 者：姬五胜

专 业：无线电物理

导 师：李 英



上海大学出版社

· 上 海 ·

2004 年上海大学博士学位论文

微波多芯片组件中互连的仿真研究

作 者： 姬五胜
专 业： 无线电物理
导 师： 李 英



上海大学出版社

• 上海 •

Shanghai University Doctoral Dissertation (2004)

Study on the Simulation of Interconnects in Microwave Multi—Chip Module

Candidate: Ji Wusheng

Major: Radio Physics

Supervisor: Prof. Li Ying

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

主任：黎滨洪 教授，上海交通大学电子工程系 200030

委员：王宗欣 教授，复旦大学通信工程系 200433

朱守正 教授，华东师范大学电子系 200062

钦耀坤 研究员，信息产业部 23 研究所 200000

王子华 研究员，上海大学通信工程系 200072

导师：李 英 教授，上海大学通信工程系 200072

评阅人名单:

王宗欣	教授, 复旦大学通信工程系	200433
陈抗生	教授, 浙江大学信息电子工程系	310027
许福永	教授, 兰州大学电子与信息科学系	730000

评议人名单:

黎滨洪	教授, 上海交通大学电子工程系	200030
毛军发	教授, 上海交通大学电子工程系	200030
李斌颖	教授, 兰州大学电子与信息科学系	730000
徐长龙	研究员, 上海大学通信工程系	200072

答辩委员会对论文的评语

姬五胜同学的博士学位论文《微波多芯片组件中互连的仿真研究》以分段正弦函数作为基函数,以多层封装环境下微带线-通孔-微带线互连模型作为研究对象,采用矩阵束矩量法分析了通孔的散射参数,得到了通孔的散射参数在其几何尺寸和封装环境变化时所表现出来的规律。针对微带线连接角是任意角度的情况,利用 Ansoft Ensemble 7.0 仿真软件,对通孔的散射特性和辐射功率进行了仿真,得到了散射特性和辐射功率随微带线连接角的变化规律;并在信号通孔周围等距离对称地加上同轴屏蔽通孔,仿真了信号通孔的散射参数,结果表明屏蔽通孔能够改善信号通孔的散射特性。最后,以共面线-共面线倒装焊互连结构作为研究对象,利用时域有限差分法 (FDTD) 分析了此倒装焊结构中焊盘的散射特性,总结了当焊盘自身的几何尺寸及其周围封装环境发生变化时,焊盘散射特性的变化规律。

姬五胜同学的博士学位论文条理清晰,分析严谨,结论正确,图文并茂。从该篇论文中可以看出,姬五胜同学具备宽广的基础理论和系统的专业知识,有较强的科研能力和创新能力。在答辩中能正确、清楚地回答问题。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会通过无记名投票表决,全票一致同意姬五胜同学通过博士论文答辩,并建议校学位委员会授予姬五胜同学理学博士学位。

答辩委员会主席:黎滨洪

2004年4月23日

摘 要

近半个世纪以来,微波电路发展十分迅速,它经历了从低频到高频、从单层到多层的发展历程,最终导致了微波多芯片组件的产生.随着多芯片组件密度的不断提高,互连的不连续性成为制约整体性能的瓶颈.因此,对互连进行仿真和建模,对于微波多芯片组件的设计有着重要的意义.论文以垂直通孔互连作为研究对象,对通孔的散射参数进行了数值仿真和软件仿真,得到了一些有益的结论.主要的研究工作如下:

首先,以分段正弦函数作为基函数,采用矩阵束矩量法(Matrix-penciled Moment Method)分析了多层封装环境下微带线-通孔-微带线互连模型,得到了通孔的散射参数,并总结了该互连结构通孔的散射参数在其几何尺寸变化时所表现出来的规律.并以B-样条函数作为基函数进行了分析,对比了以分段正弦函数作为基函数的结果,结果表明,分段正弦函数作为求解垂直通孔互连问题的矩阵束矩量法的基函数,从精度和计算量两个方面来说都是可行的.

其次,以微带线-通孔-微带线互连结构作为研究对象,针对微带线连接角是任意角度的情况,利用Ansoft Ensemble 7.0仿真软件,对此时通孔的散射特性和辐射功率进行了仿真,得到了散射特性和辐射功率随微带线连接角的变化规律.

第三,以低温共烧陶瓷微波多芯片组件中微带线-通孔-带状线互连模型作为仿真对象,在信号通孔周围等距离对称地加上同轴屏蔽通孔,仿真了信号通孔的散射参数,结果表明屏蔽通孔能

够改善信号通孔的散射特性. 保持微带线-通孔-带状线互连结构不变, 在微带线和带状线之间加入一层介质, 并考虑了存在同轴屏蔽通孔的情况, 仿真结果表明加入介质层能明显改善信号通孔的散射特性, 此时若再加上屏蔽通孔, 散射特性会变差.

第四, 以共面线-共面线倒装焊互连结构作为研究对象, 采用时域有限差分法分析了此倒装焊结构中焊盘的散射特性. 数值结果表明, 焊盘的高度或宽度越小, 焊盘的散射特性越好. 焊盘的自感是其不连续性的主要因素, 且自感与焊盘的高度是成比例增大的. 当上、下层共面线相互交叉部分的长度变短时, 当芯片、主板以及上、下共面线之间这三个区域介质的介电常数变小时, 在这两种情况下, 焊盘的散射特性均得到改善.

最后, 对比了矩阵束矩量法和时域有限差分法的优缺点. 对于垂直通孔互连问题, 时域有限差分法更具优势. 垂直通孔互连是微波多芯片组件封装工艺和理论分析的基础, 开展垂直通孔互连的研究有着现实的意义.

关键词 微波多芯片组件, 通孔, 垂直互连, 矩阵束矩量法, 散射参数, 微带线连接角, 屏蔽通孔, 时域有限差分法, 倒装焊, 焊盘

Abstract

During the last half century, it is rapidly developing of microwave circuit technique either from low frequency to high frequency or from single layer to multiple layers that leads to the coming of microwave multi-chip module (MMCM). With the increasing density of multi-chip module, the discontinuity of interconnect is the choke point which restrains its integral performance. Hence, it is significant for the design of MMCM to simulate and model of interconnect. The work in this dissertation is, focused on the problem of vertical via interconnect, to fulfil numerical and software simulation on via's scattering parameter. Some useful results are obtained. Main study contains the following:

Firstly, Matrix-penciled moment method with piecewise sinusoidal basis function is used to analysis and compute via's scattering parameter of microstrip-via-microstrip interconnect model of multi-layered environment. Some laws of scattering parameter in the interconnect structure are shown while to change via's geometric parameters. Another analysis is made by considering B-spline function as the basis function to carry the same process. By contrast, the former is feasible to solve the vertical via interconnect problem for the acceptable precision and the cost of implement.

Secondly, considering microstrip-via-microstrip interconnect structure, for the case that microstrip connecting angle is arbitrary,

simulation is programmed in *Ansoft Ensemble 7.0* simulation software so as to obtain scattering parameter and radiation power. The inherent relationship between changes of scattering parameter and radiation power is explored and reported when microstrip connecting angle changes.

Thirdly, the object to simulate is microstrip-via-microstrip interconnect model of MMCM in LTCC, equal-distance and symmetric adding coaxially shielding via around signal via. With the simulation of signal via's scattering parameter, conclusion that shielding via can improve the scattering parameter of signal via. Considering that there exists synchronously coaxially shielding via, simulating result shows that to add a layer of dielectric between microstrip and stripline can improve evidently the scattering parameter of signal via. But if adding progressively shielding via, its scattering parameter will become worse.

Fourthly, the object to study is CPW-CPW flip-chip interconnect structure. Scattering parameter of solder bump in flip-chip structure is analyzed by using FDTD. It is shown from result of numerical experiment that the less the bump's height and width are, the better of its scattering parameter. It is also come out that the bump's inductance which is proportioned to its length is the major factor to cause discontinuity. Both the case that the overlap part's length between upper and lower layer CPW becomes short, and the case that dielectric constant of the chip, mother board, and media between the chip and mother board becomes small, the bump's scattering parameter can be improved.

Lastly, the advantage and disadvantage of two methods, namely matrix-penciled moment method and FDTD method, is presented by contrast. FDTD method is better than the other one for vertical via interconnect problem. Because vertical via interconnect is the base of theoretical analysis and package technics of MMCM, further study on vertical via interconnect is very vital and instructive to reality.

Key words MMCM, via, vertical interconnect, matrix-penciled moment method, scattering parameter, microstrip connecting angle, shielding via, FDTD, Flip-chip, solder bump

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 引 言	1
1.2 微波多芯片组件 (MMCM) 的几种互连技术	5
1.3 关于通孔互连 (Via Interconnect) 的 理论分析方法	8
1.4 主要工作	10
第二章 垂直通孔互连的矩阵束矩量法仿真	12
2.1 理论准备	12
2.2 矩阵束矩量法 (Matrix-penciled Moment Method) 原理	22
2.3 多层封装环境中垂直互连通孔的 矩阵束矩量法分析	30
2.4 结 论	52
第三章 微波多芯片组件中通孔散射特性与 微带线连接角的关系研究	54
3.1 问题的由来	54
3.2 通孔传播特性的仿真结果	55
3.3 结 论	68
第四章 存在屏蔽通孔情况下信号通孔 散射特性的仿真研究	69
4.1 引 言	69

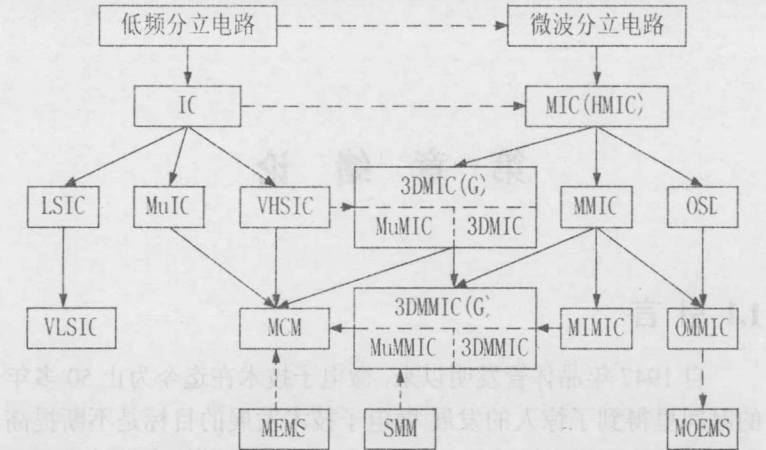
4.2 存在屏蔽通孔情况下信号通孔散射特性的仿真结果	69
4.3 结 论	77
第五章 时域有限差分法分析互连的基本理论	78
5.1 引 言	78
5.2 时域有限差分法	79
5.3 时域有限差分法在多层电路互连分析中的应用	88
5.4 小 结	93
第六章 倒装焊互连的时域有限差分法仿真	94
6.1 引 言	94
6.2 时域有限差分法对倒装焊互连的分析	95
6.3 微波网络理论的辅助分析	104
6.4 结 论	108
第七章 总结与展望	109
7.1 论文工作的回顾通孔的种类与作用	109
7.2 垂直通孔互连的研究意义	110
7.3 矩阵束矩量法与时域有限差分法的比较	112
7.4 关于通孔互连的一些函待解决的问题	113
参考文献	116
致 谢	125

第一章 绪 论

1.1 引 言

自 1947 年晶体管发明以来,微电子技术在迄今为止 50 多年的时间里得到了惊人的发展.微电子技术发展的目标是不断提高集成系统的性能和性价比,这是半导体工艺不断提高的动力源泉.遵循特征尺寸平均每三年缩小 $\sqrt{2}$ 、集成度平均每三年增加 4 倍的摩尔定律,集成电路(IC)制造的特征尺寸先后从最初的 $10\mu\text{m}$ 以上缩小到 $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$,并在 1997 年前后缩小至 $0.35\mu\text{m}$,半导体工艺自此进入深亚微米阶段(线宽 $\leq 0.35\mu\text{m}$).同时,IC 芯片的规模在依次经历了小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)阶段后,如今已发展到特大规模(GSI)阶段.

作为电子学的一个分支——微波技术问世已有半个多世纪,它发展迅速、应用广泛.20 世纪 60 年代出现了混合微波集成电路(HMIC),70 年代出现了单片微波集成电路(MMIC),90 年代出现了用于毫米波的 MMIC,即微波与毫米波单片集成电路(MIMIC),随后又出现了三维微波集成电路(包括 MuMIC, 3DMIC, MuMMIC, 3DMMIC),以及近年来出现的微波多芯片组件(MMCM).微波电路的发展基本上遵循着从低频向高频、从单层到多层的发展历程,参见图 1.1^[1].



VLSIC——超大规模集成电路

MuIC——多层集成电路

VHSIC——超高速集成电路

MIC——微波集成电路

HMIC——混合微波集成电路

3DMIC(G)——三维 MIC(广义)

3DMMIC(G)——三维 MMIC(广义) MCM——多芯片组件组件

MMIC——单片微波集成电路

MuMIC——多层 MIC

MuMMIC——多层 MMIC(M³IC)

OMMIC——光 MMIC

OSD——光固态器件

MIMIC——微波与毫米波 MMIC

MOEMS——微光电—机械系统

SMM——屏幕膜片微带

MEMS——微机电系统

图 1.1 微波电路的演变(对比低频电路)

随着微电子技术的发展，集成电路复杂度的增加，一个电子系统的大部分功能都可集成于一个单芯片的封装内，这就要求微电子封装具有更多的引线、更密的内连线、更小的尺寸、更大

的热耗散能力、更好的电性能、更高的可靠性等高性能和更低的成本。由于封装的热、电、可靠性等性能直接影响着集成电路的性能,一个电路的封装成本几乎和芯片的成本相当。不同用途的集成电路对封装有不同的要求,从20世纪80年代初起,微电子封装技术逐渐成为影响微电子技术发展的重要因素之一,导致微电子封装技术的不断发展、封装形式的不断推陈出新。图1.2^[2]展示了微电子封装技术的发展过程。

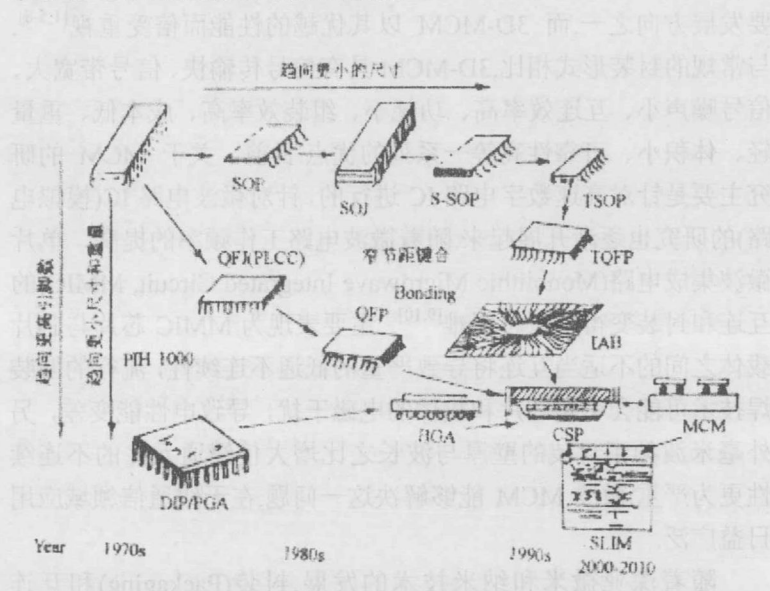


图 1.2 从单芯片到 MCM 的演变过程

可见,电子系统小型化、高性能化、多功能化、高可靠性和低成本发展已成为目前的主要趋势,它对系统集成的要求越来越迫切^[3,4]。实现系统集成的途径一是半导体单片集成技术,二是