



半导体科学与技术丛书



微系统封装技术概论

金玉丰 王志平 陈兢 编著



科学出版社
www.sciencep.com

半导体科学与技术丛书

微系统封装技术概论

金玉丰 王志平 陈 兢 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以微电子封装和集成技术为重点,融合了 MEMS 封装技术、射频系统封装技术、光电子封装技术,介绍了微系统封装设计基础技术、厚薄膜精细加工技术、基板技术和互连技术、元器件级封装集成技术、模组组装和系统级封装技术等相关内容。

本书可作为微电子、光电子、MEMS 等专业的教材,也可作为广大信息技术领域的从业人员了解微系统技术基础知识和最新发展技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微系统封装技术概论/金玉丰,王志平,陈兢 编著. —北京:科学出版社, 2006

(半导体科学与技术丛书)

ISBN 7-03-016940-9

I. 微… II. ①金…②王…③陈… III. 微电子技术-封装工艺-高等学校-教材 IV. TN405.94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013270 号

责任编辑:田士勇 余 丁 于宏丽/责任校对:陈丽珠

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年3月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年3月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—3 500 字数: 304 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《半导体科学与技术丛书》编委会

名誉顾问：王守武 汤定元 王守觉

顾 问：(按姓氏拼音排序)

陈良惠 陈星弼 雷啸霖 李志坚 梁骏吾 沈学础
王 圩 王启明 王阳元 王占国 吴德馨 郑厚植
郑有焯

主 编：夏建白

副主编：陈弘达 褚君浩 罗 毅 张 兴

编 委：(按姓氏拼音排序)

陈弘毅 陈诺夫 陈治明 杜国同 方祖捷 封松林
黄庆安 黄永箴 江风益 李国华 李晋闽 李树深
刘忠立 鲁华祥 马骁宇 钱 鹤 任晓敏 邵志标
申德振 沈光地 石 寅 王国宏 王建农 吴晓光
杨 辉 杨富华 余金中 俞育德 曾一平 张 荣
张国义 赵元富 祝宁华

执行编辑：田士勇

《半导体科学与技术丛书》出版说明

半导体科学与技术在 20 世纪科学技术的突破性发展中起着关键的作用，它带动了新材料、新器件、新技术和新的交叉学科的发展创新，并在许多技术领域引起了革命性变革和进步，从而产生了现代的计算机产业、通信产业和 IT 技术。而目前发展迅速的半导体微/纳电子器件、光电子器件和量子信息又将推动 21 世纪的技术发展和产业革命。半导体科学技术已成为与国家经济发展、社会进步以及国防安全密切相关的重要的科学技术。

新中国成立以后，在国际上对中国禁运封锁的条件下，我国的科技工作者在老一辈科学家的带领下，自力更生，艰苦奋斗，从无到有，在我国半导体的发展历史上取得了许多“第一个”的成果，为我国半导体科学技术事业的发展，为国防建设和国民经济的发展做出过有重要历史影响的贡献。目前，在改革开放的大好形势下，我国新一代的半导体科技工作者继承老一辈科学家的优良传统，正在为发展我国的半导体事业、加快提高我国科技自主创新能力、推动我们国家在微电子和光电子产业中自主知识产权的发展而顽强拼搏。出版这套《半导体科学与技术丛书》的目的是为了总结我们自己的工作成果，发展我国的半导体事业，使我国成为半导体科学技术的强国。

出版《半导体科学与技术丛书》是想请从事探索性和应用性研究的半导体工作者总结和介绍国际和中国科学家在半导体前沿领域，包括半导体物理、材料、器件、电路等方面的进展和所开展的工作，总结自己的研究经验，吸引更多的年轻人投入、献身到半导体研究的事业中来，为他们提供一套有用的参考书或教材，使他们尽快地进入这一领域中进行创新性的学习和研究，为发展我国的半导体事业做出自己的贡献。

《半导体科学与技术丛书》将致力于反映半导体学科各个领域的基本内容和最新进展，力求覆盖较广阔的前沿领域，展望该专题的发展前景。丛书中的每一册将尽可能讲清一个专题，而不求面面俱到。在写作风格上，希望作者们能做到以大学高年级学生的水平为出发点，深入浅出，图文并茂，文献丰富，突出物理内容，避免冗长公式推导。我们欢迎广大从事半导体科学技术研究的工作者加入到丛书的编写中来。

愿这套丛书的出版既能为国内半导体领域的学者提供一个机会，将他们的累累硕果奉献给广大读者，又能对半导体科学和技术的教学和研究起到促进和推动作用。

夏建白

2005 年 3 月 16 日

• i •

序

科技的发展未有穷期，我们的奋斗永不言止。自从 1958 年集成电路发明以来，将近半个世纪过去了，集成电路已成为信息处理的基本单元而被广泛应用于各个领域，成为社会信息化的基石。它发展的广度和深度连它的发明人也未能预料到。

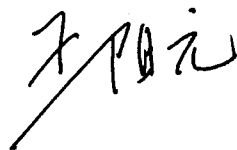
社会随着信息化的发展，集成电路已进入到集成系统（system on chip, SOC）的时代。我们常常讲的 SOC 主要还是指将信息的处理、传输和存储功能都集成在一个芯片上，我们或许可以把它称之为狭义上的集成微系统。从更广义上讲，集成系统应当包括信息的获取和随动执行部分。这种广义上的微系统已经远远超过了电子学系统的领域。它是微电子、精密机械、光电子，甚至生物医学和流体力学等技术学科交融综合的一门新兴技术学科。其基础则涉及物理学、化学、力学、光学、生物学和系统与控制学等，而其应用领域则比集成电路更为广泛。它所具有的多学科交叉融合的特点和多领域应用的可能性，吸引了众多领域的科技工作者为之奋斗。从 20 世纪 80 年代中叶以来短短的 20 年已获得了巨大的发展，在 21 世纪中必将有更大的发展。微系统技术除设计和加工工艺所特有的困难之外，封装是它突出的一个难题。它不是一般集成电路封装可以替代的，因此多年以来，一直未能突破，特别是在我国更是一个弱点，或许可以更进一步地说，是发展集成微系统的一个瓶颈。

金玉丰同志是一位有扎实基础和丰富实践经验的年轻的学术带头人。他在北京大学和新加坡工作期间取得了微机电系统（micro-electro-mechanical system, MEMS）封装领域的多项成果，包括多项发明专利。现在他接任我担任了微米/纳米加工技术国家重点实验室主任。我相信，在他的带领下，实验室必将取得新的突破，为我国 MEMS 技术的发展做出新的贡献。

金玉丰博士和王志平博士、陈兢博士合作编著的《微系统封装技术概论》，内容涉及微系统封装相关的封装设计技术、膜材料与工艺、基板技术、互连技术、包封和封接技术、器件级封装、MEMS 封装技术、模组组装与光电子封装、系统级封装、检测技术与可靠性设计等技术，不仅可以作为研究生和大学高年级学生的教材和参考书，而且可以作为在微电子、MEMS 等领域从事教学和科学研究工作的教师和工程技术人员的参考书。它的问世必将有助于我国微系统封装技术的进展和突破。我为这本专著的即将问世而欣喜，也为我们年轻一代学

术带头人的不断成长而欣喜。

在该著作即将问世之际，我特写这段话以致祝贺，作为序。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '李阳' (Li Yang) written in a cursive, stylized font.

2005年国庆节于北京大学朗润园

前 言

微系统是基于微电子技术、光电子技术、射频与无线技术、微机电系统(MEMS)及相关封装组装技术的微小型集成系统。从20世纪90年代中期开始超越钢铁业和汽车业,微系统相关产业便以万亿美元的产值成为第一大高技术支柱产业。产值超过千亿美元的微系统封装技术是信息产业技术链中的重要技术环节,是实现功能芯片向应用系统升级的技术基础,是信息系统技术含量和价值增值的重要技术保障。以微电子封装技术为代表的封装产业在当今信息社会中发挥了越来越重要的作用,同设计技术和制造技术一起,构成了信息产业的基础。

早在20世纪70年代初,人们就开始了有关微系统的研究,直到20世纪80年代中后期,这个领域才有了实质性的进展,并越来越成为先进制造技术的一个研究热点。

微系统封装技术的主要内容包括:材料、基板、互连、设计、工艺、测试、可靠性和系统集成;从封装的层面看包括芯片级封装、器件级封装、模件组封装和复杂系统级封装。为读者阅读方便,除了考虑封装技术知识的系统性和完整性外,本书力求每章相对独立,并辅以一定的研究例子进行说明。每章提供了针对性的思考题,供教学和阅读时参考。

为传授微系统技术发展最新知识,使学生了解国际微系统封装技术发展潮流,金玉丰博士于2004年秋在北京大学深圳研究生院和北京大学微电子研究院对部分研究生讲授微系统封装技术基础知识。本书就是在这些讲课内容的基础上,结合所接触到的相关科研工作,并与王志平博士、陈兢博士和张锦文博士共同合作,参阅了大量的参考文献编写而成。本书主要面向微电子专业学生和相关研究人员,简明而系统地介绍国际微系统封装技术的最新发展、相关的多层面专业知识,为这些非封装专业学者拓宽知识面开启一个窗口。

本书共分12章,金玉丰博士负责了第1章、第2章、第4章和第10章的编写,王志平博士负责了第7章、第9章和第12章的编写,陈兢博士负责了第6章和第8章的编写,张锦文博士编写了第3章的内容,第5章、第11章由金玉丰和王志平共同负责。最后由金玉丰进行了全书的审核。

在本书的写作过程中,北京大学的缪旻博士、吴文刚教授、赵影、孙永、孙庆余、陈庆华、杨梅同学和深圳研究生院的楼夏、范然、徐东升、胡启方、张家训、谢英、周惠平、魏海静、张磊、陶涛、朱正鹏等同学都做了许多有益的工作,武国英教授审核了部分手稿,作者向他们表示由衷的感谢。作者还要感谢北京大学信息学院的张兴教授、北京大学深圳研究生院张天义教授在本书写作过程

中的鼓励和支持。作者特别要感谢北京大学的王阳元院士，他在百忙之中对本书提出了指导性意见，并为本书作序。

由于作者水平所限，加上成稿时间仓促，书中难免存在疏漏和不当之处，恳请读者指正！

作者

2005年12月

目 录

《半导体科学与技术丛书》出版说明

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 什么是微系统	1
1.2 微系统相关技术基础	2
1.2.1 微电子技术	2
1.2.2 射频与无线电技术	2
1.2.3 光学技术	3
1.2.4 MEMS 技术	3
1.3 什么是微系统封装	3
1.4 什么是微电子封装	5
1.5 微电子封装发展进程	7
1.6 微系统封装技术的地位和作用	8
1.7 微系统封装中的技术挑战	10
思考题	12
参考文献	12
第 2 章 微系统封装集成设计技术	13
2.1 电气设计	13
2.1.1 封装的电气设计概述	13
2.1.2 电气设计中的基础知识和设计流程	13
2.1.3 封装的电气性能分析	15
2.2 热管理设计	20
2.2.1 热管理概述	20
2.2.2 热管理的重要性	20
2.2.3 热管理基础	21
2.2.4 电冷却方法	24
2.3 机械设计	27
2.3.1 机械设计的重要性	27
2.3.2 机械设计基本概念	28
2.3.3 机械设计方法	28

2.4	流体设计	31
2.4.1	微流体设计概述	31
2.4.2	微管道流体运动特点	31
2.4.3	微流体封装举例	32
2.5	复合场设计	33
	思考题	36
	参考文献	36
第3章	膜材料与工艺	38
3.1	薄膜材料与工艺	38
3.1.1	薄膜材料	38
3.1.2	薄膜制备方法	41
3.2	厚膜材料与工艺	43
3.2.1	厚膜材料	43
3.2.2	厚膜工艺	45
	思考题	52
	参考文献	52
第4章	基板技术	53
4.1	概述	53
4.2	有机基板	54
4.2.1	概述	54
4.2.2	PWB的基本制作工艺	54
4.2.3	PWB基板在MCM中的应用	57
4.3	陶瓷基板	58
4.3.1	分类与基本性能要求	58
4.3.2	陶瓷基板的制作方法	59
4.4	典型陶瓷基板介绍	61
4.4.1	氧化铝基板	62
4.4.2	氮化铝基板	62
4.4.3	莫来石基板	63
4.4.4	碳化硅基板	63
4.4.5	氧化铍基板	64
4.5	低温共烧陶瓷基板	65
4.5.1	LTCC基板应具有的性能	66
4.5.2	LTCC种类与特点	67
4.5.3	LTCC基板制造工艺	68
4.5.4	LTCC基板的应用	72

思考题	73
参考文献	74
第 5 章 互连技术	75
5.1 概述	75
5.2 钎焊技术	76
5.3 引线键合技术	77
5.3.1 基本概念	77
5.3.2 键合类型	78
5.3.3 引线键合的主要材料	78
5.3.4 引线键合的工艺关键	80
5.3.5 技术缺陷	81
5.4 载带自动焊技术	82
5.4.1 简介	82
5.4.2 基本工艺	82
5.4.3 技术特点	84
5.4.4 主要材料	84
5.5 倒装键合技术	85
5.5.1 简介	85
5.5.2 倒装焊工艺	85
5.5.3 倒装焊主要材料	87
5.5.4 倒装焊可靠性问题	88
5.6 系统级封装中的芯片互连	90
5.6.1 MCM 中的芯片互连	90
5.6.2 SIP 中的互连	92
思考题	92
参考文献	92
第 6 章 包封和密封技术	94
6.1 概述	94
6.2 包封技术	95
6.2.1 包封特点及要求	95
6.2.2 包封材料	95
6.2.3 包封工艺	96
6.2.4 传递模注封装	99
6.2.5 模封成型常见问题及对策	100
6.3 密封	104
6.3.1 熔融金属封接	104

6.3.2	焊料焊	104
6.3.3	钎焊	104
6.3.4	熔焊	105
6.3.5	玻璃封接	105
	思考题	105
	参考文献	105
第7章	器件级封装	106
7.1	概述	106
7.1.1	基本概念	106
7.1.2	地位作用	106
7.1.3	发展历史	107
7.2	金属封装	108
7.2.1	金属封装的概念	108
7.2.2	金属封装的特点	108
7.2.3	金属封装的工艺流程	109
7.2.4	传统金属封装材料	110
7.2.5	新型金属封装材料	111
7.2.6	金属封装案例	111
7.3	塑料封装	112
7.3.1	塑料封装的概念与特点	112
7.3.2	塑料封装的工艺流程和基本工序	113
7.3.3	塑料封装的类型	113
7.4	陶瓷封装	114
7.4.1	陶瓷封装概述	114
7.4.2	陶瓷封装的工艺流程	114
7.4.3	陶瓷封装的类型	115
7.4.4	陶瓷封装应用举例——高亮度 LED 封装	115
7.5	典型器件级封装举例	115
7.5.1	DIP 封装	116
7.5.2	BGA 封装	117
7.5.3	CSP 封装	121
7.6	发展展望	126
	思考题	127
	参考文献	127
第8章	MEMS 封装技术	128
8.1	概述	128

8.2	MEMS 芯片级装配技术	130
8.3	MEMS 芯片级封装技术	133
8.3.1	薄膜封装	134
8.3.2	微帽封装	136
8.4	MEMS 器件级封装技术	138
8.4.1	划片	138
8.4.2	拾取和定位	140
8.4.3	引线框架和基片材料	140
8.4.4	芯片粘合	141
8.4.5	互连	142
8.4.6	密封和钝化	143
8.4.7	管壳	143
8.5	MEMS 封装示例	144
	思考题	147
	参考文献	147
第9章	模组组装和光电子封装	149
9.1	概述	149
9.2	表面贴装技术	150
9.2.1	特征	151
9.2.2	组装工艺分类和基本流程	152
9.2.3	材料与清洗工艺	153
9.2.4	元器件	154
9.2.5	SMT 设计技术	155
9.2.6	SMT 检验测试	156
9.3	光电显示模块封装	158
9.3.1	液晶显示简介	158
9.3.2	显示模块封装	159
9.3.3	玻璃覆晶 (COG) 封装	160
9.3.4	柔性板覆晶 (COF) 封装	164
9.3.5	柔性板-玻璃热压键合	166
9.4	光电子封装	166
9.4.1	激光二极管封装	167
9.4.2	LED 封装技术	169
9.4.3	光电耦合对准和固定	172
	思考题	174
	参考文献	175

第 10 章 系统级封装技术	177
10.1 概述	177
10.2 片上系统技术	177
10.2.1 SOC 举例	178
10.2.2 问题、挑战与对策	180
10.3 封装系统技术	182
10.3.1 概述	182
10.3.2 SIP 技术	183
10.3.3 SIP 产品举例	185
10.3.4 SOP 技术	186
10.3.5 SOP 技术举例	188
10.3.6 片上系统和封装系统技术对比	189
10.4 RF 系统封装技术	189
10.4.1 概述	189
10.4.2 RF MEMS 封装的特点与作用	193
10.4.3 RF MEMS 封装的分类	194
10.4.4 RF MEMS 封装材料	198
10.4.5 芯片到封装及芯片内部的互连	199
10.4.6 RF 微系统封装的前沿课题	201
思考题	202
参考文献	202
第 11 章 可靠性与测试技术	206
11.1 概述	206
11.2 失效机理与对策	207
11.2.1 热致失效	207
11.2.2 电致失效	212
11.2.3 化学失效	213
11.3 可靠性的基本概念	214
11.3.1 相关材料力学概念	214
11.3.2 可靠性失效模式基础	215
11.4 可靠性试验和分析	217
11.4.1 可靠性试验	217
11.4.2 试验数据分析和寿命预测	218
11.5 电气测试基础	219
11.5.1 电气测试的必要性	219
11.5.2 电气测试基础	219

11.5.3 互连测试·····	222
11.5.4 电子束测试·····	223
思考题·····	224
参考文献·····	224
第 12 章 技术发展展望及必须考虑的几个问题 ·····	225
12.1 封装材料的发展·····	225
12.2 封装技术的发展及其应用·····	226
12.2.1 焊球阵列封装和芯片尺寸封装·····	227
12.2.2 flip chip 技术·····	228
12.2.3 3D 封装·····	228
12.2.4 多芯片模块·····	229
12.2.5 系统封装·····	231
12.2.6 封装技术发展的新领域·····	232
12.3 封装技术的发展与环境保护·····	234
12.3.1 电子垃圾污染现状·····	234
12.3.2 生产环节的控制·····	234
12.3.3 电子垃圾处理——后期环境控制·····	236
12.4 结束语·····	237
思考题·····	237
参考文献·····	238
英文缩写说明 ·····	239

第 1 章 绪 论

1.1 什么是微系统^[1]

不同的学科对微系统有不同的定义，这里所讨论的微系统是以微电子技术、射频与无线电技术、光学（或光电子学）技术、微机电系统（MEMS）等技术为核心，从系统工程的高度出发，通过包封、互连等微细加工技术，在框架、基板等载体上制造、装配、集成微小型化功能装置。我们所讨论的微系统大量应用于信息工程领域，因此微系统也可以称为信息工程微系统。这些微系统包括计算机、个人电脑、移动电话、视频产品等消费类电子产品，以及计算产品、通信产品、汽车、航空航天产品、医疗电子等信息类产品，当今人类活动与技术进步都与这些各种各样的集成多功能微小系统密切相关。

微系统产品和微电子技术、光电子技术、射频技术、MEMS 技术、封装技术的关系和作用可以用图 1.1 进行描述。

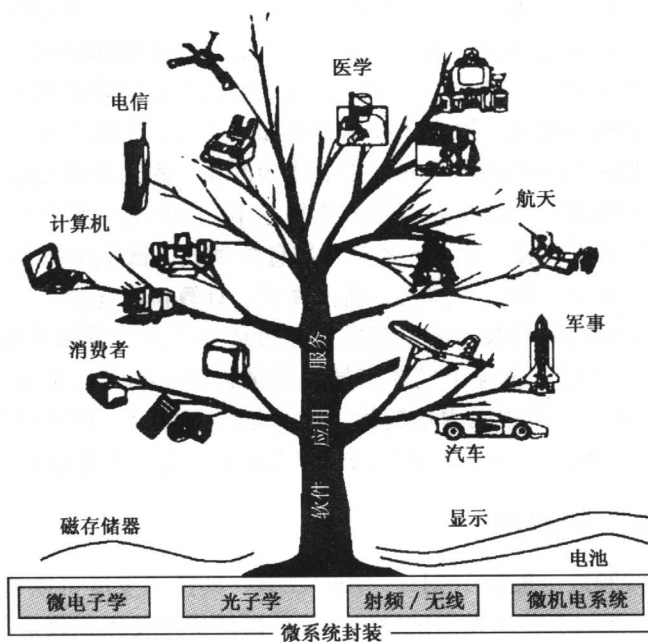


图 1.1 微系统产品与相关技术关系