

电子封装技术丛书

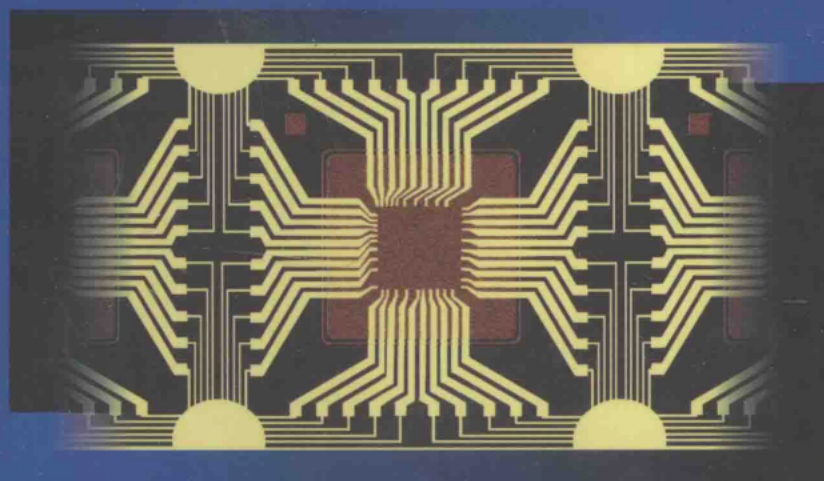
MICROELECTRONICS PACKAGING HANDBOOK
(SECOND EDITION)

微电子封装手册

(第二版)

Rao R. Tummala
〔美〕 Eugene J. Rymaszewski 等编
Alan G. Klopfenstein

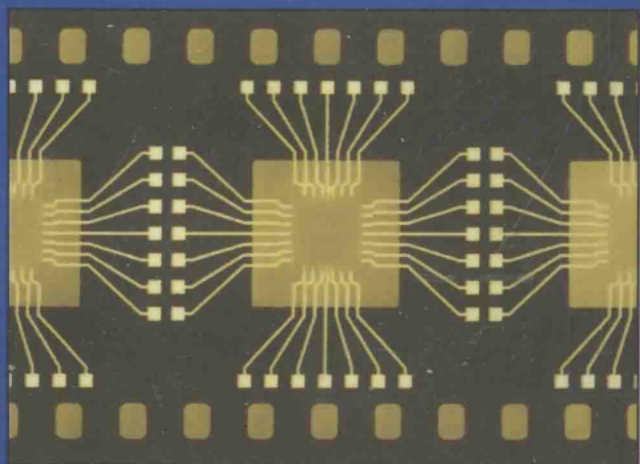
中国电子学会电子封装专业委员会 组织译校
电子封装丛书编辑委员会



MICROELECTRONICS PACKAGING HANDBOOK
(SECOND EDITION)

微电子封装手册

(第二版)



ISBN 7-5053-4577-X



9 787505 345775 >



责任编辑：吴金生
封面设计：闫欢玲

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 7-5053-4577-X/TN · 1134 定价：200.00 元

电子封装技术丛书

MICROELECTRONICS PACKAGING HANDBOOK
(SECOND EDITION)

微电子封装手册

(第二版)

Rao R. Tummala

[美] Eugene J. Rymaszewski 等编

Alan G. Klopfenstein

中国电子学会电子封装专业委员会
电子封装丛书编辑委员会

组织译校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系由国际上最著名的来自不同国家和公司从事微电子封装的 74 位专家集体编写而成。全书分三大部分 18 章。第 I 部分是封装技术的驱动力,共 6 章,包括微电子封装概论、封装布线和端子、封装电设计、热设计、可靠性及封装制造管理等一些有关封装的基本知识;第 II 部分是半导体封装,共 7 章,包括芯片与封装的互联、陶瓷封装、塑料封装、电子封装中的聚合物材料、薄膜封装、封装电测试、封装的密封和包封;第 III 部分是子系统或板级封装,共 5 章,包括封装与电路板的互连、印制线路板封装、被覆金属封装、连接器和电缆、光电子器件与电子器件的封装等。书后有术语和符号注释。

本书不仅涉及微电子封装的设计,而且涉及微电子封装的材料和工艺;不仅有原理的阐述,而且还有大量的实验数据和经验介绍。本书资料丰富、内容较新、图表多、参考资料全面。它不仅是我国从事一级和二级微电子封装的制造、设计和管理以及相关行业的工程技术人员的必备工具书,而且也是高校有关专业师生的一本较好的教学参考书。

Translation and Adaptation of the first English language edition

Copyright © by Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA

Chinese translation edition Copyright © 2001 by Publishing House of Electronics Industry. All rights reserved.

本书中文简体专有翻译出版版权由美国 Kluwer Academic Publishers 授予电子工业出版社。该专有出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

微电子封装手册/(美)塔马拉(Tummala, R. R.)编;中国电子学会电子封装专业委员会,电子封装丛书编辑委员会组织译校.-北京:电子工业出版社,2001.8

书名原文:Microelectronics Packaging Handbook

ISBN 7-5053-4577-X

I. 微… II. ①塔…②中…③电… III. 微电子技术-封装工艺-技术手册 IV. TN405.94-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 049358 号

丛 书 名: 电子封装技术丛书

书 名: 微电子封装手册(第二版)

原 书 名: Microelectronics Packaging Handbook(Second Edition)

编 者: [美] Rao R. Tummala, Eugene J. Rymaszewski, Alan G. Klopfenstein 等

组 织

中国电子学会电子封装专业委员会、电子封装丛书编辑委员会

译 校 者:

责任编辑: 吴金生

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天印印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 83 字数: 2120 千字

版 次: 2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-4577-X
TN·1134

定 价: 200.00 元

版权贸易合同登记号 图字:01-98-1485

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

电子封装丛书编辑委员会

顾 问：杨玉良 余寿文 梁春广
许居衍 宗祥福

主任委员：毕克允

副主任委员：贾松良 高尚通 张经国 武 祥

常务编委：贾松良 苏世敏 王传声

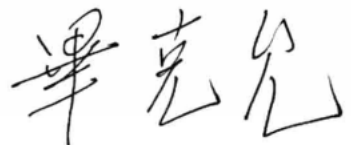
编 委：许维源 汤继南 郑兴利 董义成
黄大河 白光显 林 叶 郭大琪
沈卓身 张 崎 关白玉 周传明
刘复汉 娄 虹 郑宏宇 陈裕焜
马莒生 顾毓沁 叶明新 晋 江
石明达

丛书序言

电子元器件是信息产业的重要基础,尤以微电子为核心技术,其中封装、设计及圆片制造已成为微电子技术的三个有机组成部分。进入 21 世纪以来,由于信息产业的快速发展,中国政府不断地出台一些有利于微电子发展的政策,因此在中国目前正出现“微电子热”。微电子封装更是走在圆片制造的前面,已在中国蓬勃发展,中国已在全球电子封装制造业中占有重要地位。

中国电子封装业目前的发展趋势是在扩大规模的同时提升产品档次和增值能力。这样对专业技术人员的需求急剧上升,特别是对熟练的工艺操作人员和研究开发人员的需求非常突出。针对我国目前缺乏系统阐述电子封装技术书籍的情况,中国电子学会电子封装专业委员会组织清华大学、河北半导体研究所、华东微电子研究所等单位翻译并委托电子工业出版社出版此书以饴读者。本书组织翻译过程中电子科学研究院武祥高工、清华大学贾松良教授、河北半导体研究所苏世敏高工、华东微电子研究所王传声高工起了重要作用。

Rao R. Tummala 教授目前是乔治亚理工大学封装中心主任,为国际上非常有影响的知名学者。由他牵头并组织 74 位专家编写的这部“微电子封装手册”从理论和工艺实践的角度出发对电子封装技术进行了系统明确地阐述,对工程技术人员和研究开发人员均有非常重要的参考和实用价值。相信本书的翻译和出版对中国电子封装技术的发展将会起到重大的推进作用。



2001 年 6 月 28 日

中译本序

我相信本书对于目前正开始在向现代电子技术迈进的中国来说是非常重要的。与过去不同,全球正期望中国能制造他们所需的大量电子产品中的大多数,世界各国也希望中国能够从大量最新的进展中获得支持。这里有许多实例:如 IBM 宣布投资 3 亿美元在上海建立 IC 封装厂;Amkor 也宣布投资 6 000 万美元在上海建立 IC 封装厂;Silicon Storage 投资 6 000 万美元在上海建立圆片制造厂;On-Semiconductor 在浦东建成了研发中心;Intel 自 1998 年开始投资 2 亿美元在上海建立了闪速存储器厂;Motorola 在天津于半导体上已投资了 19 亿美元。这些仅仅是少许实例。我确信随着中国增加人力资本,其他的公司也将会在中国进行发展。上述的骤然发展有两个基本原因:1)相信中国能够生产出高质量的产品;2)相信中国能够生产出成本比其他各处更低的产品。当然,这就要求中国投入制造资本和人力资本。制造资本正空前地涌入中国,因而它并不构成限制。但是,人力资源的发展是费时、复杂和昂贵的,这就需要像本书这样的综合性手册。

本书将对从事现代微电子封装(从 IC 封装到系统封装)人员的培养大有帮助。我赞扬毕克允教授和他组织的 30 余人的小组,他们花了很长的时间来翻译我们的由 Chapman and Hall 公司于 1997 年出版的《微电子封装手册——卷 I、II 和 III》。

本书反映了这样一种需求,它基于微电子学界越来越清楚地认识到:随着半导体持续地在性能、成本和可靠性方面得到改进,这些微电子器件的封装可能会限制系统的性能。封装技术的多学科性,不仅对于微电子学界,而且对于那些即将必须使用许多交叉学科的科学原理来制造先进产品的工业界同仁来说,也都已明显地构成了挑战。

虽然本书无意成为一本针对封装内任何领域的经典教科书,但它试图定义微电子封装是什么,包括封装所涉及的所有工程和科学学科的技术现状,以及能影响产业需要的基础领域。同时它还提供了微电子封装各方面的丰富的信息资源。

电子电路封装技术是为基本的电子电路处理和存储信息建立互连和一个合

适的操作环境的科学和技术。因此,本书中的微电子封装技术是指:为在电、光、热、力和化学等方面支持那些具有微米和亚微米尺寸的、常被称为集成电路的半导体器件所必需的设计和互连技术。电子元件和它们的封装是大量各种设备的基本组成单元。用户的需求和设备供应商间的竞争导致了这些组成单元的不断改进和演变,特别是在成本、性能、质量和可靠性方面。

在任何领域内创造一本手册的主要问题是显而易见的。当书完成时,其中的许多信息也许就需要更新了。对于微电子封装来说更是如此,因为它即使不是所有信息技术中增长最快的,也是最快的之一。第一版是个开端,这个第二版也早该出版了。根据用户的需求和建议,进一步的发展和改进将在未来的版本中出现。现在这本书反映了我们认为当今业界所希望的东西。

第一版完全是由 IBM 的人员编写的。在本版中,我们试图包括尽可能多的非 IBM 的技术专家以及尽量少用 IBM 的行话。第二版包括来自许多国家的公司和大学的 74 位作者,每位都是他或她自己领域的专家。我们相信第二版提供了微电子封装技术领域的非常有代表性的全面的概况。

我再次感谢毕克允教授和他的翻译小组,他们完成了将庞大的 3 卷英文版翻译成 1 卷中文版的艰巨任务。

Rao R. Tummala 教授

Joseph M. Pettit 微系统封装 Chair 教授

NSF-ERC SOP 技术主任

IEEE-CPMT 协会主席

Georgia Research Alliance Eminent Scholar

Packaging Research Center

Georgia Institute of Technology

813 Ferst Drive, NW

Atlanta, GA 30332-0560

2001.6.11

译者的话

近年来,随着国内外微电子产业的发展,国内的微电子封装业也正在经历着巨大的变化:封装业正逐步从设计、圆片制造、封装三者都有的微电子综合企业中分离出来形成独立的“微电子封装产业”;封装发展的经费支持与需求驱动正逐步由政府投资为主、军用/宇航需求驱动为主转变为国内外公司投资为主和商品、市场需求为主;生产企业以国营工厂为主转变为以外资、合资、私营和国营企业共同发展;封装的形式以低档的双列直插封装(DIP)为主转为较先进的SOP、QFP、PLCC等表面安装封装为主,部分国外独资企业也已在我国封装BGA和CSP的产品。更为重要的是随着改革开放的不断深入,中国电子信息产业的迅猛发展,中国已成为世界上的微电子产品的消费大国,1998年中国大陆消耗的集成电路数量已约占世界总产量的14%,而当时中国大陆封装生产的集成电路数量却不到世界生产总量的1%。巨大的市场需求和国家为扶植微电子产业近年来又不断出台新的优惠政策,使微电子封装业在近几年来有了突飞猛进的发展。这几年每年集成电路产量的增长率都在30%~40%,远高于同期国际上封装业平均年增长率约10%的数值。国际上一些著名的微电子企业都纷纷来大陆设置独资或合资封装企业,如美国的Intel、AMD、Motorola、IBM、National Semiconductor、Harris等;日本的东芝、松下、日立、三菱、富士通等;韩国的三星、现代;另外,与泰国合资成立了阿发泰克,与法国和意大利合资成立了赛意法公司;近年来台湾到大陆合资、独资的封装企业也有了很大的发展。这种潮涌般的发展同样推动了国内资本的封装企业发展,如江阴长电公司2000年的封装量以达2.5亿块,天水永红公司已达1.5亿块。目前国内年封装量在1亿块以上的已有10余家企业。新的资金和技术还在不断地涌入,估计今后相当一段时期内,中国大陆的微电子封装年平均增长率将保持在30%以上。

如此巨大的商机需要许多新的封装技术和掌握这类新技术的专业人员,除了国外引进少量人才外,多数人才都需国内本地培养。这样,就非常急需一本有关新的微电子封装技术的基本教材。1996年,在第二届电子封装国际研讨会上,Rao R. Tummala教授向毕克允主任赠送了第一版的“微电子封装手册”,当时我曾建议将其译成中文出版。后来三卷本的第二版出来,毕克允主任和中国电子学会封装专业委员会就决定将第二版译成中文。1997年中国电子封装代表团访美时,高尚通副主任和武祥秘书长购得了样书,1999年电子工业出版社正式从美国购得了中文简体专有翻译出版权,封装专业委员会成立了以贾松良教授为首的译校小组,正式开始译校工作。

本书英文版为三卷共20章,由于各卷的第1章即原书的第1、7、15章和各书的附录都是完全重复的,而中文版是一卷本,故去掉了重复部分,因此现全书共18章,仍分为三部分。第I部分是封装技术的驱动力,共6章,它们包括微电子封装概论、封装布线和端子、封装电设计、热设计、可靠性及封装制造管理等一些有关封装的基本知识;第II部分是半导体封装,共7章,它们包括芯片与封装的互连、陶瓷封装、塑料封装、电子封装中的聚合物材料、薄膜封装、封装电测试、封装的密封和包封;第III部分是子系统或板级封装,共5章,它们包括封装与电路板的互连、印制线路板封装、被覆金属封装、连接器和电缆、光电子器件与电子器件的封装等。考

考虑到篇幅的限制,附录中去掉了 74 位作者的简介,只保留了“术语与符号注释”。

由以上的结构介绍可知,本书所涉及的微电子封装内容非常广泛,它不仅介绍了微电子一级封装,而且还涉及二级封装。在微电子封装中它涉及封装的设计、材料、制造、测试和可靠性。在设计方面又包括了结构设计、布线和端子设计、电设计、热设计、可测性设计、可制造性设计等。它既介绍了封装的历史,重点又在当前的封装与发展趋势,对一些目前正在快速发展的几类封装,如焊球阵列(BGA)、芯片尺寸封装(CSP)、圆片级封装(WLP)、多芯片模块(MCM)、光电器件封装等都作了不同程度的介绍。对一些新型的封装材料也作了专门的介绍。由于本书是由各方面第一线的专家所著,所以资料丰富、内容较新、图表多、参考资料多、信息量大,它对我国从事一级和二级微电子封装的制造、设计、管理人员和高校有关专业的师生都是一本较好的参考书。

正由于本书是由不同国家、不同公司和学校的 74 位专家写成,而微电子封装又处于不断变革之中,因此原书中所用图表的格式、一些参数的新旧单位(有的用国际标准单位,有的用英制单位)没有统一,即使同一参数不同的作者表示方法也有差异。例如,热导率的单位,有的用 $W/(m \cdot K)$,而有的用 $cal/(cm \cdot s \cdot ^\circ C)$ ……另外,印刷等技术上的差错也较多。在译校过程中,除了对一些明显差错作了改正外,一些参数单位一般都照原文翻译,没有按目前国内的要求换算成国际标准单位。为了读者阅读方便,正文前附了一张有关单位换算表。

虽然在本书正式开始翻译前封装专业委员会的专家组曾两次专门讨论,统一名词术语的译名,但由于原作者较多,且不同作者用的英文原名就存在差异,加之译校者的水平有限,参与译校的人数较多和最后审校时间的紧迫,也因原附录的“术语及符号解释”是针对混合集成电路的,不少有关微电子封装的术语并未包含在内,因此中译本多有不统一之处,如印制电路板(PCB)和印制线路板(PWB)、热膨胀系数的缩写符号 CTE 和 TCE、粘结和粘接、蚀刻和刻蚀等。其他不少符号也有类似现象,比如铅锡合金,有的表示成 Pb/Sn,有的表示成 Pb-Sn,还有的表示成 PbSn。在中文版中关于 PCB 和 PWB 是按原文译出的;芯片“粘接”等都取“粘接”,不用“粘结”;铅锡合金有的表示成 Pb-Sn,有的表示成铅/锡或铅-锡等。另外,由于本书所涉及的面很宽,新知识、新技术很多,各类封装又是不同学科许多高科技交叉的产物。我们受国内技术发展、译校者水平及知识面的限制,某些译文或名词可能会有许多欠妥之处,敬请读者指正。

本书的译校工作是在中国电子学会封装专业委员会毕克允主任和武祥秘书长的领导下,由封装专业委员会副主任贾松良教授负责,下分三个组,分别负责三部分的译校。清华大学负责第 I 部分(英文第 I 卷,具体由贾松良教授负责);河北半导体研究所负责第 II 部分(英文第 II 卷,具体由苏世敏高工负责);华东微电子研究所负责第 III 部分(英文第 III 卷,具体由王传声高工负责)。全书初稿完成后,在各部分各自审校的基础上,由贾松良教授和苏世敏、王传声、罗英花三位高级工程师集中进行了统一再审核。最后,贾松良又对中译本序和全书进行了总审核。

参加本书译校工作的有清华大学、河北半导体研究所、华东微电子研究所、东北微电子研究所、中国科学院化学研究所、天水永红器材厂、上海交通大学、电子第 40 所、北京无线电计量测试研究所等单位的 30 多位教授、研究员和科技工作者。他们多数都是各自所译校部分相关领域的专家,为了表示“文责自负”及尊重译校者的署名权,他们的姓名已署在各有关章节的前面。

在本书出版之际,我们特别感谢原书主编之一 Rao R. Tummala 教授对中国微电子封装业的支持和关心,他已连续两次来华参加了第二届、第三届电子封装国际研讨会。这次,他又为

中文版写了序言,在本书的样书、版权购置过程中他和刘复汉先生也给予了许多帮助。译校者也特别感谢中国电子学会封装专业委员会的毕克允主任和武祥秘书长,他们从提出翻译出书、联系样书和出版到筹集经费等方面作了不懈的努力,毕克允主任还在百忙中为本书写了序言。没有他们的努力,此书是很难出版的。译者也十分感谢封装专业委员会的各位专家和《电子封装技术丛书》编委会对本书的支持和关爱,他们积极支持本书的出版,并多次集体研讨了有关名词术语的译名。我们也十分感谢河北半导体研究所、武汉无线电器材厂、华东微电子研究所对本书出版经费上的慷慨资助。我也十分感谢 30 多位译校者这几年来在本书译校工作中所作的努力和贡献,特别是苏世敏、王传声、罗英花几位高级工程师在最后审校中所作的贡献,那些日子大家几乎每天都是从清晨工作到深夜。我们也十分感谢各译校人员所在单位和领导对本书译校工作的支持。我也非常感谢我的同事和学生张忠会、胡涛和郭江华等,他们无偿地为本书的出版做了许多具体的工作。我们深深感谢电子工业出版社,他们千方百计购得了本书的版权,并在时间十分紧迫的情况下,安排人力、物力保证了本书在第四届电子封装国际研讨会前能按时出版。最后,我们衷心感谢电子工业出版社的吴金生同志,由于他广博的知识、严谨的工作作风、自我牺牲的工作精神、良好的团结共事态度,在他的指导下,才使中译本的质量不断得到改进,并得以按期出版。

我们谨以此书献给正在蓬勃发展的我国微电子封装业,希望它能为我国正在茁壮成长的微电子封装业这棵小树起到加肥培土的作用。并衷心希望广大读者对本书译文中存在的不足之处提出宝贵的改进意见。

清华大学微电子学研究所教授
中国电子学会封装专业委员会副主任
SEMI 中国标准化委员会封装分会副主任
贾松良
2001.7.3

单位换算

长度

| | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $1 \text{ m} = 10^{10} \text{ \AA}$ | $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ |
| $1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$ | $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ |
| $1 \text{ m} = 10^6 \text{ \mu m}$ | $1 \text{ \mu m} = 10^{-6} \text{ m}$ |
| $1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm}$ | $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ |
| $1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$ | $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$ |
| $1 \text{ mm} = 0.0394 \text{ in}$ | $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$ |
| $1 \text{ cm} = 0.394 \text{ in}$ | $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ |
| $1 \text{ m} = 3.28 \text{ ft}$ | $1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$ |

面积

| | |
|---|--|
| $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$ | $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ |
| $1 \text{ mm}^2 = 10^{-2} \text{ cm}^2$ | $1 \text{ cm}^2 = 10^2 \text{ mm}^2$ |
| $1 \text{ m}^2 = 10.76 \text{ ft}^2$ | $1 \text{ ft}^2 = 0.093 \text{ m}^2$ |
| $1 \text{ cm}^2 = 0.1550 \text{ in}^2$ | $1 \text{ in}^2 = 6.452 \text{ cm}^2$ |

体积

| | |
|---|--|
| $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$ | $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ |
| $1 \text{ mm}^3 = 10^{-3} \text{ cm}^3$ | $1 \text{ cm}^3 = 10^3 \text{ mm}^3$ |
| $1 \text{ m}^3 = 35.32 \text{ ft}^3$ | $1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$ |
| $1 \text{ cm}^3 = 0.0610 \text{ in}^3$ | $1 \text{ in}^3 = 16.39 \text{ cm}^3$ |

质量

| | |
|---|--------------------------------------|
| $1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$ | $1 \text{ kg} = 10^{-3} \text{ Mg}$ |
| $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$ | $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$ |
| $1 \text{ kg} = 2.205 \text{ lb}_m$ | $1 \text{ lb}_m = 0.4536 \text{ kg}$ |
| $1 \text{ g} = 2.205 \times 10^{-3} \text{ lb}_m$ | $1 \text{ lb}_m = 453.6 \text{ g}$ |

密度

| | |
|--|--|
| $1 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ | $1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$ |
| $1 \text{ Mg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ | $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ Mg/m}^3$ |
| $1 \text{ kg/m}^3 = 0.0624 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$ | $1 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 = 16.02 \text{ kg/m}^3$ |
| $1 \text{ g/cm}^3 = 62.4 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$ | $1 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 = 1.602 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3$ |
| $1 \text{ g/cm}^3 = 0.0361 \text{ lb}_m/\text{in}^3$ | $1 \text{ lb}_m/\text{in}^3 = 27.7 \text{ g/cm}^3$ |

力

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$ | $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$ |
|----------------------------------|-------------------------------------|

$$1 \text{ N} = 0.2248 \text{ lb}_f$$

$$1 \text{ lb}_f = 4.448 \text{ N}$$

压力、压强

$$1 \text{ MPa} = 145 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 6.90 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$1 \text{ MPa} = 0.102 \text{ kg/mm}^2$$

$$1 \text{ kg/mm}^2 = 9.806 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ Pa} = 10 \text{ dyn/cm}^2$$

$$1 \text{ dyn/cm}^2 = 0.10 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kg/mm}^2 = 1422 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 7.03 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$$

断裂强度

$$1 \text{ psi (in)}^{1/2} = 1.099 \times 10^{-3} \text{ MPa (m)}^{1/2}$$

$$1 \text{ MPa (m)}^{1/2} = 910 \text{ psi (in)}^{1/2}$$

能量, 功, 热

$$1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 6.24 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0.239 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 9.48 \times 10^{-4} \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Btu} = 1054 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0.738 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f$$

$$1 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f = 1.356 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 3.83 \times 10^{-20} \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 2.61 \times 10^{19} \text{ eV}$$

$$1 \text{ cal} = 3.97 \times 10^{-3} \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Btu} = 252.0 \text{ cal}$$

功 率

$$1 \text{ W} = 0.239 \text{ cal/s}$$

$$1 \text{ cal/s} = 4.184 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 3.414 \text{ Btu/h}$$

$$1 \text{ Btu/h} = 0.293 \text{ W}$$

$$1 \text{ cal/s} = 14.29 \text{ Btu/h}$$

$$1 \text{ Btu/h} = 0.070 \text{ cal/s}$$

粘 度

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$$

$$1 \text{ P} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

温度, T

$$T(\text{K}) = 273 + T(^{\circ}\text{C})$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$$

$$T(\text{K}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32] + 273$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} [T(\text{K}) - 273] + 32$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = [T(^{\circ}\text{C})] + 32$$

比热容

$$1 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 2.39 \times 10^{-4} \text{ cal/g} \cdot \text{K}$$

$$1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C} = 4184 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$1 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 2.39 \times 10^{-4} \text{ Btu/lb}_m \cdot ^{\circ}\text{F}$$

$$1 \text{ Btu/lb}_m \cdot ^{\circ}\text{F} = 4184 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C} = 1.0 \text{ Btu/lb}_m \cdot ^{\circ}\text{F}$$

$$1 \text{ Btu/lb}_m \cdot ^{\circ}\text{F} = 1.0 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$$

热导率

$$1 \text{ W/m}\cdot\text{K} = 2.39 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K}$$

$$1 \text{ W/m}\cdot\text{K} = 0.578 \text{ Btu/ft}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{F}$$

$$1 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K} = 241.8 \text{ Btu/ft}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{F}$$

$$1 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K} = 418.4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$1 \text{ Btu/ft}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{F} = 1.730 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$1 \text{ Btu/ft}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{F} = 4.136 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K}$$

单位符号

| | | |
|-------------|-------------------------|--------------------------|
| A = 安(培) | in = 英寸 | N = 牛(顿) |
| Å = 埃 | J = 焦耳 | nm = 纳米 |
| Btu = 英热量单位 | K = 开尔文度 | P = 泊 |
| C = 库仑 | kg = 千克 | Pa = 帕(斯卡) |
| °C = 摄氏度 | lb _f = 磅力 | s = 秒 |
| cal = 卡(路里) | lb _m = 磅(质量) | T = 温度 |
| cm = 厘米 | m = 米 | μm = 微米 |
| eV = 电子伏 | Mg = 兆(百万)克 | W = 瓦(特) |
| °F = 华氏度 | mm = 毫米 | psi = 每平方英寸磅 |
| ft = 英尺 | mol = 摩尔 | ppm = 1×10^{-6} |
| g = 克 | MPa = 兆帕 | ppb = 1×10^{-9} |

国际单位制中十进制倍数的词头和符号

| 数值 | 词头 | 符号 |
|------------|-------|----|
| 10^9 | giga | G |
| 10^6 | mega | M |
| 10^3 | kilo | k |
| 10^{-2} | centi | c |
| 10^{-3} | milli | m |
| 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{-9} | nano | n |
| 10^{-12} | pico | p |

前 言

电子工业已超过农业、汽车业和重金属工业成为最大的工业。它已经变成为使一个国家繁荣起来所精选的工业,且已经使包括日本、韩国、新加坡、香港和爱尔兰等显著地繁荣起来。以现在的发展速度,到 2000 年世界总的半导体销售额将达到 3 000 亿美元。

决定电子工业增长速度的关键电子技术包括半导体及用在汽车、电信、计算机、消费品、航空和医药工业等系统中的半导体封装、显示器、磁和光存储器以及软件和系统技术。然而,在这些技术中已经有了显著的变化,从不惜一切代价的主机和超级计算机应用转向大约是原来价格和体积的十分之一的消费类应用。个人计算机是个很好的例子,从在 1981 年最初制造出来时的每 MIP 500 美元,在 10 年内降到预计的每 MIP 1 美元。因此,轻薄、便携、用户友好和价格低廉是明天计算和通信系统的性能。

对可靠的系统,电子封装被定义为实现互连和对半导体芯片实现供电、冷却和保护。在系统和产品级上它是达到减小尺寸和成本所要求的一项关键保证技术。

在封装工艺中,最近发生了重大的变化。例如,倒装芯片直接粘接在有机板上,通过有机薄膜和金属薄膜的直接淀积,既避免了使用昂贵的钻孔技术又增加了有机板上的连线能力,非气密封装产品的可靠性达到了以前仅在陶瓷封装中才有的水平,以及所有的无源元件有可能被集成在互连板内。所有这些变化都期望在电子工业的所有部门中会产生革命性的产品。

为了描述这些技术的状况和未来的发展,编辑 Tummala 教授、Rymaszewski 教授和 Klopfenstein 先生已经从全球组织了一支由 74 名封装专业人员组成的优秀队伍,他们一起写出了由三个部分组成的《微电子封装手册》。这是一本工业界和大学所需要的极好的书。它既可作为对初涉该领域者的简介,也同样适合于作为对那些已经从事封装设计、一级和二级封装及其互连、测试、组装、热管理、光电子学、可靠性和生产方面的人员的最新参考资料。

我赞扬作者和编辑的巨大贡献,同时希望这本书将把优秀的教职工、学生和工业探索者的注意力吸引到他们将在 21 世纪所面临的封装挑战中去。

Bertrand Cambou
Motorola 高级副总裁
技术部
半导体生产部

序

“这本书反映了这样一种需求,它基于微电子学界越来越清楚地认识到:随着半导体持续地在性能、成本和可靠性方面得到改进,这些微电子器件的封装可能会限制系统的性能。为响应这种需求,学术界开始询问它的工业伙伴:封装到底应该什么样,以及在哪些科学和技术领域需要和工业界合作继续探索。作为这些讨论的一个结果,一批美国和世界各国的大学已经在封装的各个方面制定了科研和/或教学规划,范围从材料、组装、电学和热模型、薄膜以及许多其他方面。封装技术的多学科性,不仅对于微电子学界,而且对于那些已在使用许多交叉学科的科学原理来制造先进产品的工业界同仁来说,都已清楚地构成了挑战。”这是 1989 年出版的《微电子封装手册》第一版序言的开头语。今天,第一句话是正确的,然而另外两个因素变得更加重要:成本和尺寸。当人们考虑到消费类电子产品时这就更明显了。封装的电子器件,在电视、计算机、通信、导航、汽车、航空电子技术、医药等许多不同的领域内的使用在急剧增加。也许最大的变化是大学已经积极参与微电子封装领域和制定了相应的科研与教学规划。同时,由技术界——既包括在技术研讨会上,也包括在个别人主讲的报告会上——所涉及的微电子封装的范围经历了戏剧性的增长。

虽然本书并不打算成为一本用于封装内任何领域的经典教科书,但它却试图定义微电子封装是什么,包括跨越所有工程和科学学科的技术现状和能满足工业需求的基本领域。同时它也提供了微电子封装的各方面丰富的信息源。

电子电路封装技术是为基本的电子电路处理和存储信息建立互连和一个合适的操作环境的科学和艺术。因此,本书中的微电子封装技术是指:为在电、光、热、力和化学等方面支持那些具有微米和亚微米尺寸的、常被称为集成电路的半导体器件所必需的设计和互连技术。对于大量的各类设备来说,电子元件和它们的封装就像积木块一样,用户需求和设备供应商之间的竞争导致这些积木块的不断改进和演变,特别是在出版、性能、质量和可靠性方面。

自从本书的第一版出版以来,电子工业已发生了一系列显著的变化。其一,系统方面的重点已从大型计算机转向需要特别低的成本、轻薄、便携式封装的个人计算机和便携的无线通信系统。其次,半导体技术的重点已从双极型转向 CMOS。在封装方面同样也发生了一系列显著的变化。在 1989 年只有对于像氧化铝和硅这样的无机基板芯片才可能直接粘接,今天芯片可以直接键合和用在印制线路板上。板本身也在经历巨大的变化,不再使用昂贵的和老式的机械钻孔技术,而用光刻工艺使它能有高的布线密度。以前只有陶瓷封装才能获得的非常高的可靠性,如今在非气密性的条件下使用有机的封装和板也同样可以获得。本书写作时考虑到了这些变化,并且与工业界的需求相一致。

本书的内容分成三部分。第 I 部分包括 1 至 6 章,论述了微电子封装技术的驱动力——电、热和可靠性;另外,第 I 部分还介绍了在产品开发时必须予以考虑的生产方面的技术开发。第 II 部分包括 7 至 14 章(中文版为 7~13 章),涉及 IC 芯片到一级封装以及所有一级封装间的互连;第 II 部分也包括了电子测试以及密封和包封技术。第 III 部分包括 15 至 20 章(中文版为 14~18 章),涉及板级封装以及连接器、电缆和光学封装。其中原书第 1、7、15 章的封装技术概论是重复的。

在任何领域内创造一本手册的主要问题是显而易见的。当书完成时,其中的许多信息也许就需要更新了。对于微电子封装来说更是如此,因为它即使不是所有技术中增长最快的,也是最快的之一。第一版是个开端,这个第二版也早该出版了。根据用户的需求和建议,进一步的发展和改进将在未来的版本中出现。现在这本书反映了我们认为当今业界所希望的东西。我们正在探索更加快捷地提供信息的新方法,包括电子出版和互联网。

第一版完全是由 IBM 的人员编写的。我们试图包括尽可能多的非 IBM 的技术专家以及尽量少用 IBM 的行话。这个第二版包括 74 位作者,每位都是他或她自己领域的专家,他们来自许多公司、大学和国家。我们相信第二版提供了微电子封装技术领域的非常有代表性的全面的概况。

任何一本手册都要感谢那些曾经参与编写、打印、绘图、审阅手稿、编辑、出版以及管理所有这一切活动以使本书按时发行的所有人们。尤其是,各部分的所有参与者的积极和主动的态度是十分必要的。除了各章作者以外,我们要感谢 Debra Kelly 帮助我们保持正规以及准备一些手稿。应予以指出的是互联网的广泛使用使我们更容易一起共同工作并节省开支。感谢 Jim Geronimo 和 Barbara Tompkins,他们准备了大量图稿和进行了大量的复印和编辑工作,并且保证所有相应的作者都有及时的复印件来审阅。同样感谢 Kristi Bockting 和 Worldcomp 的人员的巨大贡献,他们将所有参与合作的作者的简介统一进最后的稿件。我们把最大的感谢送给我们的妻子:AnneTummala 和 Jean Rymaszewski,以及 MaryAnn Klopfenstein,为她们的容忍和全力支持。我们感谢 Motorola 公司高级副总裁 Bertrand Cambou 为我们所作的透彻的前言。

Rao R. Tummala

Eugene J. Rymaszewski

Alan G. Klopfenstein