

Mc  
Graw  
Hill

Education

Series of Electronic Packaging Technology

电子封装技术丛书

# MEMS/MOEMS Packaging

Concepts, Designs, Materials, and Processes

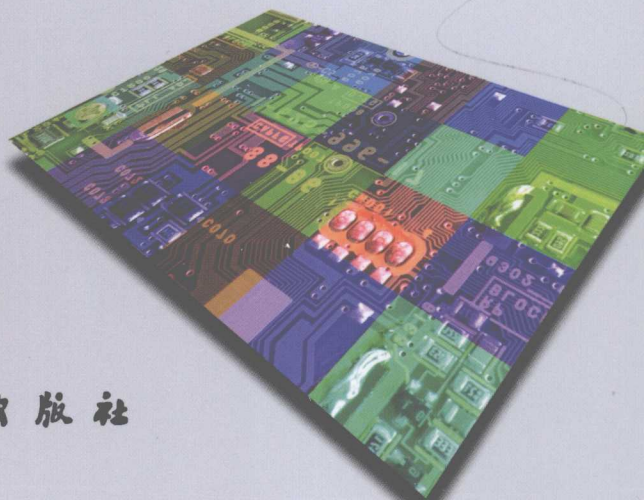
# MEMS/MOEMS封装技术

——概念、设计、材料及工艺

[美] 肯·吉列奥 (Ken Gilleo) 著

中国电子学会电子封装专委会  
电子封装技术丛书编辑委员会

组织译校



Mc  
Graw  
Hill



化学工业出版社

电子封装技术丛书

Series of Electronic Packaging Technology

TN405.94/9

2008

# MEMS/MOEMS Packaging

## Concepts, Designs, Materials, and Processes

# MEMS/MOEMS封装技术

## ——概念、设计、材料及工艺

[美] 肯·吉列奥 (Ken Gilleo) 著

中国电子学会电子封装专委会  
电子封装技术丛书编辑委员会 组织译校



化学工业出版社

·北京·

微电子机械系统(MEMS)是指集微型传感器、执行器以及信号处理和控制电路、接口电路、通信和电源于一体的微型机电系统。它具有微型化、智能化、多功能、高集成度和适于大批量生产等特点。微光电子机械系统(MOEMS)是一种将 MEMS 技术引进到光电子中的新应用。近几年, MEMS/MOEMS 技术的迅速发展使其在汽车、医疗、通信及其他消费类电子产品中获得了广泛的应用。但影响 MEMS/MOEMS 技术飞速发展的关键,就是封装技术。

本书是国际上较系统全面阐述 MEMS/MOEMS 封装的著作,作者是微电子封装界的知名专家、美国表面组装协会的董事。本书主要介绍 MEMS/MOEMS 封装技术的最新进展,以及工艺的共性、个性和可靠性。针对高成本的封装,本书给出了全面的解决方案,内容全面、系统、新颖。

本书不仅适用于从事封装工作的研究人员,也有助于 MEMS 从业人员解决封装的关键问题,同时也对 MEMS 工作者了解封装知识具有很大的参考价值。本书也可作为高校电子封装专业和 MEMS 专业本科高年级学生及研究生教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

MEMS/MOEMS 封装技术——概念、设计、材料及工艺/[美]吉列奥(Gilleo, K.)著;中国电子学会电子封装专委会,电子封装技术丛书编辑委员会组织译校. —北京:化学工业出版社,2008.1

(电子封装技术丛书)

书名原文: MEMS/MOEMS Packaging: Concepts, Designs, Materials, and Processes  
ISBN 978-7-122-01518-1

I. M… II. ①吉…②中…③电… III. 微电子技术-封装工艺 IV. TN405.94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 177927 号

MEMS/MOEMS Packaging: Concepts, Designs, Materials, and Processes/by Ken Gilleo

ISBN 0-07-145556-6

Copyright©2005 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.  
No part of this publication may be reproduced or distributed by any means or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Chemical Industry Press.

本书中文简体字翻译版由化学工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2007-0382

---

责任编辑:吴刚  
责任校对:陶燕华

文字编辑:徐卿华  
装帧设计:潘峰

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:化学工业出版社印刷厂

装订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张15 $\frac{3}{4}$  字数234千字 2008年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

# 译 序

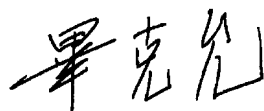
随着集成电路技术向深亚微米和纳米技术发展，现今微纳电子封装技术的重要性也与日俱增，于是提高我国电子产品的主要技术基础，解决人才匮乏与培养问题也就更加凸显出来。为了满足电子封装技术工作者和大专院校师生对封装技术资料的迫切需求，中国电子学会生产技术学分会电子封装专委会、电子封装技术丛书编辑委员会组织编写、翻译出版了电子封装技术丛书。其中，《集成电路封装试验手册》（1998年电子工业出版社出版）、《微电子封装手册》（2001年电子工业出版社出版）、《微电子封装技术》（2003年中国科学技术大学出版社出版）、《电子封装材料与工艺》（2006年化学工业出版社出版）四本已于近几年先后出版。《MEMS/MOEMS封装技术》一书是这一系列的第六本，该书出版后，正在编纂中的系列丛书之五《光电子封装技术》、之七《电子封装工艺设备》以及之八《封装可靠性》将会陆续出版，以飨读者。

目前，微电子机械系统（MEMS）/微光电子机械系统（MOEMS）技术已经引起了世界各国的广泛关注。MEMS/MOEMS器件可实现宏观机电系统所不能实现的功能，将系统的小型化、自动化、智能化和可靠性提高到新的水平，在国防、工业、航空、航天、信息产业、医疗卫生以及环境科学等领域有巨大的应用前景。利用MEMS/MOEMS技术制造的基于新原理、新功能的微型化器件和系统已经成为21世纪崭新的技术领域，并逐步向大批量产业化方向发展。大多数MEMS/MOEMS器件具有可动结构，并且需要与外界物质相互作用并使之产生运动，因此，相对于微电子器件来说，MEMS/MOEMS对封装的要求更高。当今微电子器件采用的低成本封装不能满足大多数MEMS/MOEMS器件的需求。种类繁多、需求各异的MEMS器件对现有封装技术提出了极大的挑战，使封装难度和封装成本大大增加。目前，MEMS器件的封装成本占器件成本的50%~80%，MOEMS封装成本占总成本的75%~95%。针对MEMS/MO-

EMS 器件的需求,开展 MEMS/MOEMS 封装技术研究,对于增强 MEMS 器件性能,降低成本,加快 MEMS 产业化非常重要。

《MEMS/MOEMS 封装技术》译自美国 McGraw-Hill 公司出版的《MEMS/MOEMS Packaging》一书,是该公司纳米科学与技术系列丛书(Nanoscience and Technology Series)中的一本。本书针对 MEMS/MOEMS 器件的封装技术要求展开分析,对 MEMS/MOEMS 器件的原理、材料与制造进行了详细介绍,全面分析了 MEMS 与 MOEMS 器件对封装的需求,介绍了封装材料及封装工艺,提出了一种新的 MEMS/MOEMS 封装概念——准气密封装,最后,对纳米器件封装作了展望。本书可作为高校电子封装专业和 MEMS 专业本科高年级以及研究生教材,对从事 MEMS/MOEMS 技术以及电子封装及其相关行业的技术人员也有较高的参考价值。中国电子学会生产技术学分会电子封装专委会和电子封装技术丛书编辑委员会组织中国电子科技集团第十三研究所从事 MEMS 技术与电子封装技术的专家对本书进行了翻译,同时邀请国内从事 MEMS 技术有实践经验的专家对本书各章进行了细致的校对,并由化学工业出版社出版。相信该书的出版发行对我国 MEMS/MOEMS 技术及电子封装行业的发展都会起到积极的推动作用。

在此向参加本书译校的所有人员和支持本书出版的有关单位及出版社工作人员表示由衷的感谢!并希望广大读者提出意见和建议。



2007 年 10 月

# 译者前言

自 20 世纪 80 年代以来，微电子机械系统（MEMS）技术受到了世界各国的广泛重视。经过二十余年的发展，MEMS 产品开始得到广泛应用，MEMS 产业链逐渐形成。然而，我国 MEMS 器件多处于实验室研究或小批量试用阶段，主要原因就是 MEMS 封装技术相对滞后。长期以来，“封装无技术”的思想导致了 MEMS 封装水平的落后，成为制约 MEMS 器件实用化的瓶颈。借鉴国外已有先进经验，加强 MEMS 封装技术研究，对于我国 MEMS 产业的发展具有极为重要的意义。

本书是专注于新兴技术和器件封装咨询的 ET-Trends 公司总裁 Ken Gilleo 博士关于 MEMS/MOEMS 封装技术的专门著作。本书作者在对 MEMS 器件封装技术的阐述中，力图使读者清楚地认识到 MEMS/MOEMS 封装技术有别于以往任何微电子器件的封装，必须采用新的理念和技术来解决 MEMS/MOEMS 器件对现有封装技术提出的挑战。本书共分 6 章。作者在第 1、2 章介绍了电子封装及 MEMS/MOEMS 器件的原理、材料与制造的基础知识，对现有技术进行了简要总结。第 3 章详细分析了 MEMS/MOEMS 器件所特有的自由运动空间、应力、RF 屏蔽流场设计等对封装技术提出的挑战，并针对每一项挑战提出了详细的解决方案。第 4、5 章对 MEMS/MOEMS 的封装工艺和材料进行了详细介绍。最后一章对 MEMS 器件的封装技术进行了展望。

本书从 MEMS/MOEMS 器件对封装技术的需求出发，专门解决 MEMS/MOEMS 器件对封装提出的特殊挑战，有别于以往有关微电子或微系统封装技术的著作，对从事 MEMS/MOEMS 器件封装的工程技术人员和学生具有很高的参考价值。

在中国电子学会生产技术学分会毕克允理事长的组织领导下，中国电子科技集团公司第十三研究所（以下简称“中电十三所”）有关技术人员对全书进行了翻译。本书由杨拥军、李博主译，高尚通主校。各章主要翻

译人员有李秀清高工（第1章）、杨拥军研究员、李博博士（第2、3章）、刘志平高工（第4、5章）、李栓庆高工（第6章）。译稿校审人员有中电十三所高尚通教授（第1章），华中科技大学刘胜教授（第2章），北京大学金玉丰、陈兢教授（第3章），哈尔滨工业大学王春青教授（第4章），中电四十三所朱颂春高工（第5章）以及东南大学唐洁影教授（第6章）。前言、附录中的内容均由杨拥军、李博译，高尚通校。另外，中电十三所的郑锋、李倩、郑七龙、胡小东、罗蓉、何洪涛、吕树海、石鹏远、任才华、蒋印峰、张金力、孙瑞花等同志也参与了部分翻译工作。

在此要特别感谢化学工业出版社的同志为本书所做的大量工作，在本书的出版过程中提出了许多有益的意见和建议，使得本书的出版工作顺利地完成。

虽然在翻译过程中，对书中所涉及的名词术语进行了多次斟酌、讨论，但由于时间仓促，加之译者水平有限，书中不足之处，恳请读者谅解并提出宝贵意见。

译者

2007年8月

# 前 言

我们有充分的理由将 MEMS 看作 21 世纪的标志性技术。它在单芯片上实现传感、分析、计算和控制功能，近十年间为我们提供了功能强大的新产品，而且还不止于此。从运动、光、声、分子探测、无线电到计算，所有这些功能都可以集成在 MEMS 器件之中。传感器拥有日益庞大的市场，MEMS 还可以实现电学、机械、光学、流体、电磁等的控制。将运动、传感、控制和计算功能结合在非常紧凑的单个系统，这是一项重要的技术飞跃。尽管未来还存在挑战，但是，所有的问题都会得到解决。MEMS 结合了机械、电学、光学以及化学、物理、生物、医学等重要领域，它使各种科学技术集中在一起，并使之小型化。MEMS 拥有勃勃生机，并得到庞大的半导体行业的良好支持，这在器件级保证了它技术上的不断成功。不论是世界电子巨头，还是后起之秀，国家实验室以及数百家大学都为这项 21 世纪最有价值的技术领域提供了强大的支持。

在人们多年对 MEMS 的不懈努力和高度期望下，它正处于稳步、良好、快速的发展阶段。许多技术关注者意识到 MEMS 是一个非常重要的领域，然而只有极少数人真正认识到了其可以发展的广阔空间和丰富多样的功能。目前，人们对于 MEMS 的观点是：它是一种在已有半导体器件上增加了机械、运动和光（MOEMS）的扩展器件，最重要的一点是集中了几乎所有的学科，各种技术可以因此受益并得到显著发展。由于机械、光学和电子已在宏观尺度上良好结合，所以，MEMS 被电子工业界认为是可以像计算机芯片一样普遍应用的基于电子器件的扩展平台。目前已有包括 Agilent、Analog Device、Canon、Delphi、Denso、Epson、GE Infrastructure Sensing、Hewlett Packard、Honeywell、IBM、Intel、Kavilico、Lexmark、Motorola (Freescale)、Robert Bosch、ST Microdevice、Texas Instrument 以及 VTI Technology 等在内的超过 250 家商用 MEMS 公司积极致力于该领域的研究工作。主要的专业组织正努力成为重要的



MEMS 资源中心。多数工业化国家将 MEMS 列为主要的政府规划。美国主要通过 Sandia 国家实验室在国家防御和安全领域继续推进 MEMS 的水平和能力。目前，在国防和安全领域迫切需要 MEMS 器件。法国的 CEA-LETI、德国的 Fraunhofer 以及比利时的 IMEC 也是活跃的实验室。几乎所有的大学都在从事 MEMS 研究，某些院校目前已经可以提供工程应用器件。

但是 MEMS 领域依然存在挑战。虽然在器件级水平上已经获得许多成功，但是封装技术依然滞后。或许是因为人们错误地认为现有的技术已经足够了，所以对封装发展投入的资金非常有限。绝大多数的封装专家却认为，MEMS 封装及生产对他们这一行业提出了前所未有的挑战。不仅因为最新的 MEMS 器件微小而复杂，更重要的是它与外界常常存在电连接以外的连接形式。像加速度计和陀螺这样的运动传感器是其中的例外，这些器件只需要与外部进行电连接。正如本书中所介绍的那样，由于这些传感器可以进行晶圆级封帽，所以可以对其进行模塑成型封装，但是由于包封存在变形和应力，会导致器件灵敏度下降。由于这些成熟的 MEMS 产品已经问世，所以许多人错误地认为封装技术也已经解决了，这是很荒谬的。气囊加速度传感器的封装并不能满足生物 MEMS 或危险气体传感器的封装要求。高级传感器和所有的 MOEMS 芯片需要带腔体的封装，而不能采用惯性器件常采用的模塑成型封装工艺。

传统的封装理念是：将除了电源及信号以外的其他东西与器件隔离。最常见的电学封装——非气密塑封——将包封材料与芯片直接接触。但是环氧塑封和其他标准封装工艺不能适应 MEMS 器件的机械特性。然而，利用本书介绍的晶圆级保护方案，可以将改良的标准封装工艺应用于包括光 MEMS 芯片在内的 MEMS 器件。但是，在必须使用腔体时，MEMS 专家选择封装形式的范围就非常狭窄了，而且可供使用的封装性价比不高。被迫采用军用电子器件和专业远程通信产品的气密封装是不明智的。电子器件的封装成本仅占总成本的 4%~5%，而 MEMS 封装的成本比内部器件本身要高出许多。封装成本占总成本的 50%~80%，这使 MEMS 器件无法应用于许多对成本敏感的和有吸引力的市场领域，从而限制了 MEMS 器件的发展。本书对此提供了一些解决方法。

这本实用书的目的在于帮助 MEMS 业内人员和技术专家摆脱传统

“盒子”（旧观念）的桎梏，而不让昂贵的封装成为埋葬伟大思想的“坟墓”。专门为这些有别于以往器件的机械和光学器件提供新颖的封装设计，将 MEMS 和 MOEMS 封装水平推向一个创新的高度，是非常必要的。本书系统地介绍了封装的原理、设计、材料和工艺。介绍并详细讨论了新的概念（如准气密封装）。对于热固注入模塑这一低成本大批量生产的封装方法作了详细的描述。在这一领域出现了许多新的封装方式以寻求新的发展途径。MEMS 封装的创新也为纳电子机械系统（NEMS）铺平了道路。纳米技术已经应用于 MEMS 产品，而且，随着时间的推移，这两种强有力的技术手段之间的距离也将不断拉近。MEMS 所需的以及正为 MEMS 开发的工具为非传统器件提供了目前最通用的手段，也为将来的纳米技术提供了技术基础。

肯·吉列奥博士

# 目 录

<b>第 1 章 MEMS 和 MOEMS 电子封装工程基础</b> .....	1	器件 .....	28
1.1 封装的重要桥梁作用 .....	2	1.4.4 准气密封装——一种新类型 .....	29
1.2 封装技术面临的挑战 .....	4	1.5 可靠性与质量认证 .....	31
1.3 封装技术的多种功能 .....	8	1.6 总结 .....	31
1.3.1 保护 .....	8	参考文献 .....	32
1.3.2 互连 .....	9	<b>第 2 章 MEMS 和 MOEMS 器件的原理、材料与制造</b> ..	33
1.3.3 芯片与封装的相容性 .....	12	2.1 定义与分类 .....	35
1.3.4 封装与印制电路的相容性 .....	15	2.2 基本原理 .....	38
1.3.5 路径排布 .....	16	2.3 传感 .....	39
1.3.6 电子路径排布 .....	16	2.4 MEMS 传感器原理 .....	39
1.3.7 材料排布 .....	17	2.4.1 惯性(运动)传感器 .....	40
1.3.8 机械应力控制 .....	18	2.4.2 压力传感器 .....	42
1.3.9 热管理 .....	19	2.4.3 化学传感器 .....	42
1.3.10 组装工艺的简化 .....	20	2.5 运动驱动 .....	44
1.3.11 性能的提高 .....	20	2.6 MEMS “引擎” .....	45
1.3.12 可测试性与老化 .....	20	2.6.1 静电/电容 .....	45
1.3.13 可拆装性和可维修性 .....	21	2.6.2 电磁执行器 .....	47
1.3.14 标准化 .....	21	2.6.3 双晶片执行器 .....	47
1.4 封装类型 .....	22	2.6.4 压电执行器 .....	48
1.4.1 全气密封装 .....	22	2.6.5 其他执行器 .....	48
1.4.2 非气密性塑料 .....	26	2.7 CAD 结构库, 建模模块 ..	48
1.4.3 模塑成型的封帽型 .....		2.7.1 器件材料 .....	49
		2.7.2 制作方法与策略 .....	50

2.8 MEMS 器件 .....	51	3.2.14 成本 .....	85
2.8.1 传感器 .....	52	3.3 气密性; 级别, 评价方法	
2.8.2 控制器 .....	53	和需求; 理解与实际的	
2.9 光 MEMS, MOEMS .....	54	对比 .....	85
2.10 智能 MEMS .....	54	3.4 性价比的折中 .....	87
2.11 MEMS 应用 .....	55	3.5 低成本准气密封装的	
2.12 MOEMS 器件——MEMS		出现 .....	88
与光的结合 .....	62	3.5.1 定义与描述 .....	88
2.12.1 光控原理 .....	63	3.5.2 材料选择 .....	88
2.12.2 光 MEMS (MOEMS)		3.5.3 互连设计 .....	89
的应用 .....	64	3.6 制造工艺比较 .....	90
2.13 总结 .....	68	3.6.1 金属封装 .....	90
参考文献 .....	69	3.6.2 陶瓷封装 .....	92
<b>第 3 章 MEMS 和 MOEMS 封</b>		3.6.3 塑料封装: 塑料与	
<b>  装面临的挑战和策略</b> .....	71	陶瓷的比较 .....	95
3.1 MEMS 封装的专有产品		3.6.4 塑料封装中的芯片	
特性 .....	72	安装 .....	107
3.2 MEMS 的一般封装需求 .....	73	3.6.5 封帽 .....	108
3.2.1 自由空间 (气体、		3.6.6 封装屏蔽问题 .....	110
真空或流体) .....	73	3.6.7 注模封装的气密性	
3.2.2 自由空间 (流体) .....	75	测试 .....	110
3.2.3 低沾污 .....	76	3.6.8 封装提高性能 .....	114
3.2.4 减小应力 .....	77	3.6.9 条带和阵列的生产	
3.2.5 温度限制 .....	78	效率 .....	114
3.2.6 封装内环境控制 .....	79	3.6.10 对 NHP 注模封装	
3.2.7 外部通道的选择 .....	80	技术的认可 .....	114
3.2.8 机械冲击的限制 .....	81	3.6.11 NHP 与 MEMS	
3.2.9 粘连 .....	81	专用封装的现状 .....	115
3.2.10 RF 屏蔽 .....	82	3.7 MOEMS (光 MEMS 封装)	
3.2.11 流体管理 .....	83	的特殊需求 .....	115
3.2.12 高真空封装 .....	84	3.7.1 窗口与通道 .....	116
3.2.13 器件自身作为封装 .....	84	3.7.2 保持光透性 .....	118
		3.7.3 尺寸稳定性 .....	118

3.7.4	热管理	118	4.9.7	电气焊接	150
3.7.5	封装腔内的动态调整	119	4.9.8	机械互锁	150
3.8	针对物质操作的封装	119	4.9.9	软钎焊	150
3.8.1	设计理念	120	4.9.10	硬钎焊	150
3.8.2	流体系统	120	4.9.11	铰接封盖	150
3.8.3	气体/气载介质分析器	121	4.10	抗粘连处理	152
3.8.4	纳米级微粒与 MEMS	121	4.11	在线操作	154
3.8.5	通道的选择	121	4.12	封装内部使用添加剂	155
3.9	NHP 技术在 MEMS 器件领域外的应用	121	4.12.1	吸附剂使用工艺	155
	参考文献	122	4.12.2	使用润滑剂	155
<b>第 4 章</b>	<b>MEMS 封装工艺</b>	125	4.13	设备	156
4.1	释放的步骤	128	4.14	试验	156
4.2	分割工艺: 划片及保护	130	4.15	可靠性	156
4.3	封帽方法	133	4.15.1	概述	156
4.3.1	介质帽	133	4.15.2	污染的影响	157
4.3.2	一级互连帽	135	4.16	选择合适的 MEMS/ MOEMS 封装和材料	158
4.3.3	二级互连帽	135	4.16.1	典型封装材料的特点	158
4.4	芯片安装	137	4.16.2	充分考虑加工成本	158
4.5	引线键合	138	4.17	结论与总结	159
4.6	倒装芯片法	138		参考文献	160
4.7	载带自动焊	140	<b>第 5 章</b>	<b>MEMS 封装材料</b>	163
4.8	选择下填料和封装	143	5.1	工艺决定材料	164
4.9	盖板密封	144	5.1.1	导电材料——互连	165
4.9.1	热黏结剂的使用	144	5.1.2	金属表面精饰	167
4.9.2	密封胶 UV 固化	145	5.1.3	壳体材料	167
4.9.3	激光密封	146	5.1.4	有机塑料及其优点	169
4.9.4	超声焊	148	5.1.5	环氧的局限性	172
4.9.5	直接热键合	149	5.1.6	金属、陶瓷和塑料的比较	172
4.9.6	RF 密封/熔焊	149	5.2	连接材料	176

5.3 组装问题和材料方案 .....	177	器件中使用纳米	
5.3.1 分割工艺中的保护 .....	177	材料 .....	194
5.3.2 芯片黏结剂 .....	178	6.2.2 MEMS 处理纳米	
5.3.3 盖板密封材料 .....	178	材料 .....	194
5.4 封装内添加剂 .....	179	6.2.3 用于 MEMS 的纳米	
5.4.1 吸附剂 .....	179	元件 .....	195
5.4.2 吸湿剂 .....	181	6.2.4 纳米测量 .....	196
5.4.3 抗粘连剂 .....	182	6.2.5 纳器件 .....	196
5.4.4 润滑剂/防磨损剂 .....	184	6.2.6 纳电子器件 .....	197
5.5 结论 .....	185	6.2.7 纳电子学与 MEMS 的	
参考文献 .....	186	结合 .....	202
<b>第 6 章 从 MEMS 和 MOEMS</b>		6.2.8 纳米增强封装 .....	202
<b>到纳米技术 .....</b>	187	6.3 封装纳米器件 .....	203
6.1 定义的重要性 .....	191	6.4 总结、结论及展望 .....	205
6.2 纳米技术与 MEMS		参考文献 .....	205
结合 .....	193	<b>专业名词中英文对照 .....</b>	207
6.2.1 MEMS 和 MOEMS		<b>参考书目 .....</b>	219

MEMS/MOEMS PACKAGING CONCEPTS, DESIGNS, MATERIALS, AND PROCESSES

# 第1章

# MEMS 和 MOEMS 电子 封装工程基础

李秀清 译  
高尚通 校

电子元器件封装已由最初的一个用于无线电真空电子管的简单的玻璃外壳演变成一种极其复杂的高级系统，目前已成为新一代技术发展的核心。当前，封装技术正在经历着又一次革命。从某些方面来看，也许这将是封装技术的最后一次革命了。由于半导体工业总是遵循着每 18 个月性能翻一番的摩尔定律不断向前发展，致使集成电路（IC）的复杂程度一直不断增加，工作速度不断提高，而同时芯片尺寸也变得越来越小。电子器件的这些变化对连接到印制电路板上的工艺技术提出了日益严峻的挑战，而印制电路板技术的发展和改进速度却要比半导体技术慢得多，封装技术必须顺应这些变化。封装技术正处在从单芯片封装向密度呈指数增长的多芯片系统的过渡之中。垂直叠层三维（3D）封装设计终于获得了成功，并且正用于目前大多数最新的移动电话。有些人认为三维叠层技术将是高密度化的终极革命，因为采用这种设计理念会制造出一种立方体形、容量最大和引脚最少的封装技术。对于当前的硅基电子器件而言，这种看法也许是正确的。但是很多新兴器件，包括那些以纳米技术为基础的新型器件已初现端倪，还有一些其他类型的新型器件已经研制成功，如微电子机械系统（MEMS）以及微光电子机械系统（MOEMS）等。

当前，各式各样的机械和光电机械器件急需一种适当的封装技术——对很多芯片设计而言这也许是一种尚不存在的封装技术。MEMS 器件为封装研发者和制造商带来了一系列最新的，也是最具诱惑力的挑战。本章开始将详细介绍并讨论电子封装技术的各种要素和功能，然后将阐述机械芯片的独特要求，详细研究普通封装中最重要的基本功能和特点，然后再论述 MEMS 和 MOEMS 的特殊要求。

## 1.1 封装的重要桥梁作用

从表面上看，也许封装只不过是一个黑色小塑料盒，一片灰色石头板，或是一个用来盛装芯片的明亮金属容器，但实际上，如果认真细致地分析那些需要在极端而易变的条件下完成的重要任务时，就会发现封装的确是一个十分复杂的精密系统。封装技术将继续在截然不同的半导体与印制电路板（PCB）制造产业之间担负起重要的桥梁作用。但是随着芯片与



PCB 之间的分歧不断扩大，封装设计人员的任务也会越来越艰巨。有些封装的作用是极其重要的，有一些是有益的，还有一些是也许从没有过先例的专用产品。对封装的基本要求包括在微小的半导体芯片和较大的 PCB 之间提供电气互连系统。信号通路对于像倒装芯片（FC）一类的应用具有极其重要的作用，当然在其他应用场合情形各异。封装是一种物理级的转换器，它可以使那些极其微小的芯片的性质与各种基板组装的焊点布局相容。环境保护几乎总是需要考虑的一项基本要求，但这种要求也是因产品而异的，如对于高度钝化和结实的芯片而言，需要提供的保护会少一些，而针对那些几乎对周围环境中的任何事物都会敏感的 MEMS、MOEMS 以及光电子器件（OE）则需要提供特别的保护。芯片上的金属焊点通常是不可软钎焊的，而 PCB 一般都采用软钎焊点互连的方式，封装的另一个作用就是在这两者之间提供适当的兼容手段。其实只要能实现无铅焊料组装就是很了不起的成就了，而无铅焊料组装的工艺温度目前已提高了 40℃ 或更高。封装的抗机械冲击及其与 PCB 之间的连接通常是手机一类的便携式产品的一项较新的重要要求。封装的外壳还必须是可拆装的，最好还能进行返修。在其长期的使用过程中，制作好的组装必须能够

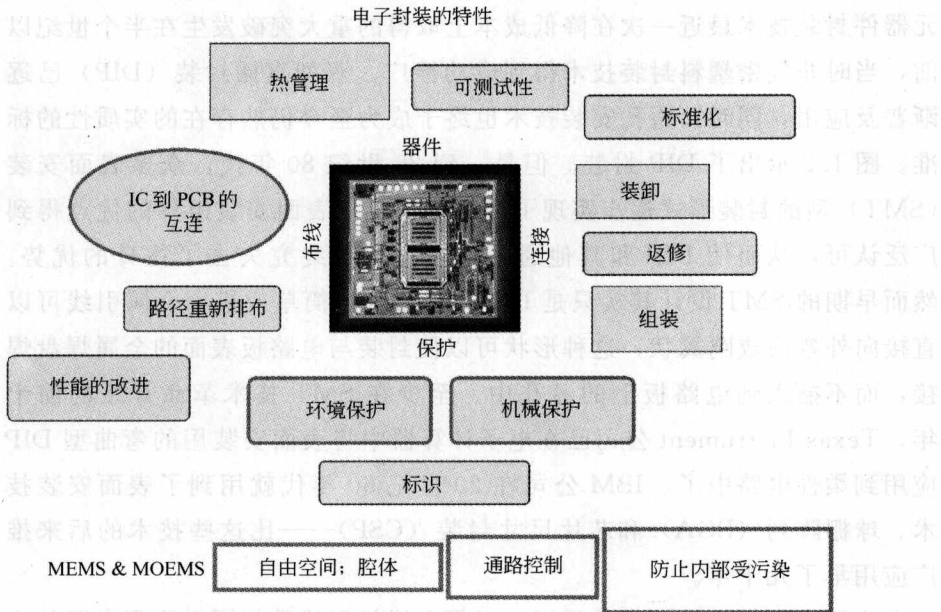


图 1.1 封装的基本功能