



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学信息科学技术学院教材——微电子光电子系列

# 微系统设计制造

## Microsystem Design and Fabrication

王喆垚 编著

Wang Zheyao

清华大学出版社

## 内 容 简 介

微系统(MEMS)是一门多学科高度交叉的前沿学科领域,其设计、制造和应用广泛涉及到物理学、化学、力学、微电子学、电子学、光学、生物医学和控制工程等多个学科。本书介绍微系统的基础理论、分析设计方法和制造技术,以及前沿应用领域的多种典型器件。主要内容包括:微系统基本力学、微系统制造技术、微型传感器、微型执行器、射频微系统(RF MEMS)、光学微系统(MOEMS)、生物医学微系统(BioMEMS)以及微流体与芯片实验室。本书强调设计与制造相结合、基础与前沿相结合,在基础理论和制造技术的基础上,深入介绍典型器件的设计和制造方法以及重点和前沿应用研究领域,力争展示微系统的全貌。

本书可供高等院校电子、微电子、机电系统、测控技术与仪器、精密仪器、机械工程、控制工程等专业的二年级本科生、研究生和教师使用,也可供相关领域的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

微系统设计与制造/王喆垚编著. —北京:清华大学出版社,2008.2

(清华大学信息科学技术学院教材·微电子光电子系列)

ISBN 978-7-302-15196-8

I. 微… II. 王… III. ①微电子技术—设计 ②微电子技术—制造 IV. TN40

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 069518 号

责任编辑:王一玲

责任校对:白 蕾

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:三河市春园印刷有限公司

装 订 者:三河市深源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:41.75 字 数:1036 千字

版 次:2008年2月第1版 印 次:2008年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:59.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:019488-01

# 《清华大学信息科学技术学院教材》

## 编 委 会

(以姓氏拼音为序)

主 任： 郑大钟

副 主 任： 蔡鸿程 胡事民 任 勇 覃 征  
王希勤 王 雄 汪 蕙 余志平

编 委： 高文焕 华成英 陆文娟 王诗宓 温冬婵  
萧德云 谢世钟 殷人昆 应根裕 郑君里  
郑纬民 周立柱 周润德 朱雪龙

秘 书： 王 娜

责任编辑： 陈国新 马璞琚 王一玲

# 出版说明

---

本套教材是针对清华大学信息科学技术学院所属电子工程系、计算机科学与技术系、自动化系、微电子研究所、软件学院的现行本科培养方案和研究生培养计划的课程设置而组织编写的。这些培养方案和培养计划是基于清华大学对研究型大学的定位和对研究型教学的强调,吸纳多年来在教学改革与实践中所取得的成果和形成的共识,历经多届试用和不断修订而形成的。贯穿于其中的“本科教育的通识性、培养模式的宽口径、教学方式的研究型、专业课程的前沿性”的相关思想是我们组编本套教材所力求体现的基本指导原则。

本套教材以本科教材为主并适量包括研究生教材。定位上,属于信息学科大类中各个基本方向的基本理论和前沿技术的一套高等院校教材。层次上,覆盖学院公共基础课程、专业技术基础课程、专业课程、研究生课程。领域上,涉及6个系列14个领域,即学院公共基础课程系列,信息与通信工程系列(含通信、信息处理等领域),微电子光电子系列(含微电子、光电子等领域),计算机科学与技术系列(含计算机科学、计算机网络与安全、计算机应用、软件工程、网格计算等领域),自动化系列(含控制理论与控制工程、模式识别与智能控制、检测与电子技术、系统工程、现代集成制造等领域),实验实践系列。类型上,以文字教材为主并适量包括多媒体教材,以主教材为主并适量包括习题集、教师手册等辅助教材,以基本理论和工程技术教材为主并适量包括实验和实践课程教材。列入这套教材中的著作,大多是清华大学信息科学技术学院所属系所院开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有多年教学经验和教学改革基础上新编著的教材,也有部分已出版教材的更新和修订版本。教材在总体上突出求新与求实的风格,力求反映所属领域的基本理论和新进展,力求做到学科先进性和教学适用性的统一。

本套教材的主要读者对象为电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、系统科学、电气工程、机械工程、化学与技术工程、核能工程等相关理工专业的大学生和研究生,以及相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望,这套教材既能为在校大学生和研究生

的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者与工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并热忱欢迎提出批评和意见。

《清华大学信息科学技术学院教材》编委会

# 序

---

微系统(microsystem),微电子机械系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)和微机械(micromachine)是同一学科的不同名称。早期,微系统在欧洲同行中使用,微机械为日本业界所喜爱, MEMS 则是 20 世纪后期美国专家们在 DARPA 的一次会议上提出来的,从此流行起来。今天,该学科的研究对象日益强调系统,而这里“机械”一词的含义也已扩展到了同时代表声、光、热、流体、化学、生物等。所以,虽然很多人已习惯了称其为 MEMS,但在学术上还是使用微系统这一名词更为合适。

若以当代杰出的物理学家费曼教授在他 1959 年的著名演讲中的所最早预言的“微机械”或以先期的半导体压力传感器研究作为始点, MEMS 发展已经有近半个世纪的历程;若以 MEMS 命名和后续的高速发展算起,则该学科还不到二十年的历史。作为一门新兴的技术学科, MEMS 的发展十分迅速:横向,学科内容已由单纯的电子和机械交叉发展到电子和机械、物理、化学、生物等学科的交叉;纵向,由单个器件发展到系统集成并开始由 MEMS 向 NEMS(纳电子机械系统)发展。工业方面,以微加速度传感器、微陀螺和压力传感器为代表的力学 MEMS,以数字微镜器件(DMD)和多路光开关等为代表的光学 MEMS(MOEMS),以 RF 开关和谐振器为代表的 RF MEMS,以及以 DNA 芯片等为代表的生物医学 MEMS 等产品正在不断涌现。轻巧、灵敏的各种 MEMS 器件已广泛地应用于仪器、信息、汽车、航空航天、军事国防、生物医学和环保等领域,为人类社会的进步做出了重要贡献。

20 世纪 90 年代初,许多人曾预期 MEMS 产业会像微电子那样逐年以指数速度发展。但迄今全球的 MEMS 产业化步伐比原先所希望的要慢。MEMS 的多学科交叉性和由于存在可动部件所导致的器件可靠性及制造工艺复杂性,使其研发难度比微电子更大,周期更长。但是,经过近二十年的大力发展,今天微系统这门新兴科学技术的基础已经建立, MEMS 产业群正在快速形成。随着微系统技术的不断进步,可以预期,21 世纪 MEMS 产业将会继微电子技术之后进一步改变世界,成为现代经济和科技发展的又一个重要推动力。

近十多年来,中国 MEMS 科学和技术的发展也很快:在国家自然科学

基金、973、863 等项目和计划的支持下,无论是基础设施、科研成果,还是人才培养等方面都有了很大的进展,国际学术交流也日益频繁。但是应该看到,中国 MEMS 科技和产业的发展明显滞后,需要我们认真研究原因,积极推进。

王喆垚博士是我国 MEMS 研究队伍中的青年之秀,他在力学和生物 MEMS 等方面有很多成果。近年来,他在清华大学连续开设“微系统设计和制造”课程。在教学与科研过程中,他收集资料、分析整理,编写成本书。我阅读了本书的初稿,觉得内容丰富、系统,叙述条理分明,是一本很好的教材和参考书。他邀请我写个序,我乐于其成。写上前面一些话,表达我对风华正茂的年青学者的敬慕和对自己长期所从事的专业的热爱。

李志坚

清华大学教授

中国科学院院士

2006 年 岁末

# 前言

## Preface

微型化是当今科学技术的重要发展方向。实现微型化和利用微型化的重要途径之一是利用微系统技术。微系统(也称微电子机械系统, MEMS)起源于集成电路制造技术,通过在芯片上集成制造微机械、微结构、微传感器、微执行器、信号控制处理电路等功能器件和单元,实现测量、驱动、能量转换等多种功能。微系统的出现使芯片远远超越了以处理电信号为目的的集成电路,将其功能拓展到机、光、热、电、化学和生物等领域。广义地讲,集成电路是电子线路系统的微型化,而其他领域的微型化都可以划分在微系统的范畴。

微系统具有微型化、集成化、智能化等特点,与宏观系统相比,能够大批量生产,成本低、性能高,甚至能够实现宏观系统所无法实现的功能,符合并促进了科学技术的发展方向,因此已经广泛应用于仪器测量、无线和光通信、能源环境、生物医学、军事国防、航空航天、汽车电子以及消费电子等多个领域,已经并将继续对人类的科学技术和工业生产产生深远的影响。

微系统是一门多学科高度交叉的前沿学科领域,其设计、制造和应用广泛涉及到物理学、化学、力学、电子学、光学、生物医学和控制工程等多个学科。由于微系统涉及内容广泛,大量借用了相关学科的基础理论,因此微系统本身的理论体系不够系统。尽管微系统已经发展出自己相对独立的设计和制造方法,但是从严格意义上讲,微系统领域纷繁繁杂以至于它本身不是一个真正独立的学科,而是一个开放式的系统。这些特点为学习、研究和应用微系统带来了困难。尽管如此,微系统仍旧具有一些重要的共性基础知识,通过掌握这些基础知识,可以逐渐深入地掌握微系统的内容。

本书的目的是尝试提供一本具有一定深度和广度的微系统专业教材,探索高度交叉学科领域的人才培养方式。针对微系统领域的特点,本书着重提取基础的、重点的和共性的问题,强调基础理论和制造方法在不同领域的应用。通过基础知识和重要、前沿发展方向的多种典型器件的介绍,掌握微系统的相关基础理论、分析设计方法和制造技术,并了解微系统在多个领域的应用。本书共分为9章,主要内容概括如下。

第1章 微系统概述。介绍微系统的概念、历史、特点,微系统与集成电路的关系,微系统的设计和制造方法概论等内容。

第2章 微系统力学基础。主要介绍微系统设计中常用的弹性力学、动



力学、流体力学等基本知识,以及多种常用结构的力学分析方法。

第3章 微系统制造技术。介绍用于微系统制造的集成电路工艺基础、表面微加工技术、体微加工技术,以及特殊微加工技术,并介绍制造过程中的基本物理、化学、力学等问题。

第4章 微型传感器。介绍物理传感器的主要敏感原理、分析设计和制造方法,以及如何利用力学、电学等基础理论与敏感机理相结合来分析、设计微型物理传感器。

第5章 微型执行器。主要介绍静电、电磁、压电、电热等执行器的基本原理、结构和制造方法,重点介绍微型执行器的分析、设计方法。

第6章 射频微系统(RF MEMS)。介绍微系统在无线通信领域的应用,包括开关、谐振器、可调电容、三维电感等器件和滤波器、压控振荡器等电路,以及设计和IC集成制造方法,重点是将电学、力学和动力学应用于RF MEMS器件的分析设计。

第7章 光学微系统(MOEMS)。介绍微系统在光通信和显示器件领域的应用,包括微镜和二维、三维光开关等,重点阐述微镜的分析、设计与制造,以及力学、电学和光学在MOEMS中的应用。

第8章 生物医学微系统(BioMEMS)。介绍微系统在药物释放、组织工程、临床诊断和治疗、神经探针等生物医学领域的应用,结合流体力学和静力学分析设计药物释放微针等。

第9章 微流体与芯片实验室。介绍微流体器件的软光刻制造工艺,阐述生化分析中驱动、混合、分离、检测等功能的芯片实现方法,介绍芯片实验室在DNA、细胞和蛋白分析中的应用。

本书强调两个方面的结合。一是设计与制造相结合。微系统的设计强烈依赖于制造工艺,在对制造工艺深入了解和实践以前,任何一个简单的器件都难以设计、优化并通过制造实现。因此本书在以基础理论为重点的同时,深入介绍微系统制造工艺和典型器件的制造方法。二是前沿与基础相结合。共性的基础理论和制造技术是微系统的基础,将设计和制造等基础应用于实际问题是最终目的,因此全书贯穿多个典型实例的分析、设计和制造方法。微系统仍处于高速发展阶段,本书较为全面地介绍微系统的重点和前沿领域,力争展示微系统的全貌。

本书可供高等院校电子、微电子、微机电系统、测控技术与仪器、精密仪器、机械工程、控制工程等专业的低年级本科生、研究生和教师使用,也可供相关领域的工程技术人员参考。本书曾在清华大学微纳电子学系和电子工程系作为本科生高年级课程“微系统设计与制造”的讲义,在出版时作了适当的删节和修改。由于本书内容较多,建议教师选择部分内容讲授,剩余内容可以作为学生的课外阅读材料。

本书的出版得到了很多人的帮助,清华大学微电子所李志坚院士、刘理天教授、伍晓明博士、方华军博士,清华大学精密仪器系董永贵教授等为本书提出了很多建设性的意见。作者还要感谢试用本书的学生和我的研究生,特别是庄志伟和周有铮,他们为本书的插图做了大量的工作,并提出了很多修改意见。作者还要感谢清华大学出版社的田志明和王一玲为本书出版所做出的努力。

由于作者的水平、知识背景和研究方向的限制,书中错误和遗漏之处,恳请各位读者、专家和MEMS领域的研究人员不吝指正。

王喆垚

2007年8月于清华大学

电子邮件: z. wang@tsinghua. edu. cn

# 目 录

# Contents

<b>1 微系统概述</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.1.1 MEMS 和微系统分类 .....	2
1.1.2 微系统的特点 .....	3
1.1.3 MEMS 的产生与发展 .....	5
1.1.4 MEMS 的产业状况 .....	8
1.2 MEMS 的设计 .....	9
1.2.1 MEMS 设计 .....	9
1.2.2 建模、模拟与数值计算 .....	10
1.3 MEMS 制造 .....	12
<b>2 微系统力学基础</b> .....	16
2.1 应力与应变 .....	16
2.1.1 应力与应力状态 .....	16
2.1.2 应变与应变状态 .....	19
2.2 弹性体基本方程 .....	21
2.2.1 本构方程 .....	21
2.2.2 运动学方程 .....	23
2.2.3 动力学方程 .....	23
2.3 弹性梁 .....	24
2.3.1 梁的基本方程 .....	24
2.3.2 悬臂梁 .....	25
2.3.3 双端支承梁 .....	28
2.3.4 折线弹性支承梁 .....	30
2.4 能量原理与变分法 .....	32
2.4.1 弹性能 .....	32
2.4.2 虚功原理 .....	33
2.4.3 能量原理 .....	35
2.4.4 变分法 .....	37

2.5	薄板结构	43
2.5.1	经典薄板理论	44
2.5.2	矩形薄板	47
2.5.3	圆形薄板	51
2.6	动力学	52
2.6.1	能量法	52
2.6.2	瑞利法	53
2.7	流体力学	53
2.7.1	流体力学基本概念	54
2.7.2	流体静力学	58
2.7.3	流体动力学	58
2.7.4	流体阻尼	61
<b>3</b>	<b>微系统制造技术</b>	<b>72</b>
3.1	集成电路工艺基础	72
3.1.1	集成电路与 MEMS 的材料	74
3.1.2	光刻技术	75
3.1.3	薄膜淀积	81
3.1.4	掺杂	86
3.1.5	刻蚀	88
3.1.6	化学机械抛光	92
3.2	体微加工技术	93
3.2.1	湿法刻蚀	94
3.2.2	干法深刻蚀	103
3.3	表面微加工技术	110
3.3.1	表面微加工流程	110
3.3.2	薄膜的力学性质	115
3.3.3	表面工艺的应用	121
3.4	特殊 MEMS 加工技术	123
3.4.1	键合	123
3.4.2	LIGA 技术	126
3.4.3	电沉积	127
3.5	高深宽比结构的制造	128
3.5.1	HARPSS	128
3.5.2	SCREAM	132
3.5.3	DRIE+SOI	133
3.5.4	Hexsil	136
3.5.5	硅片溶解法	137
3.5.6	EFAB	138

3.6	MEMS 与 IC 的集成 .....	138
3.6.1	MEMS 与 CMOS 的集成方法 .....	139
3.6.2	iMEMS 集成技术 .....	141
3.6.3	Summit .....	142
3.6.4	CMOS-MEMS .....	143
3.6.5	SiGe 工艺 .....	145
3.6.6	MEMS 代工制造 .....	146
3.7	MEMS 封装技术 .....	147
3.7.1	MEMS 封装的特殊性 .....	148
3.7.2	连线与封装方式 .....	149
3.7.3	传感器的封装 .....	151
<b>4</b>	<b>微型传感器</b> .....	<b>160</b>
4.1	微型传感器的敏感机理 .....	160
4.1.1	压阻式传感器 .....	161
4.1.2	电容式传感器 .....	168
4.1.3	压电式传感器 .....	171
4.1.4	谐振式传感器 .....	174
4.1.5	隧道效应 .....	175
4.2	压力传感器 .....	177
4.2.1	压力传感器的建模 .....	177
4.2.2	压阻式压力传感器 .....	179
4.2.3	电容式压力传感器 .....	182
4.2.4	谐振式压力传感器 .....	185
4.3	麦克风 .....	189
4.3.1	麦克风的建模 .....	190
4.3.2	驻极体式麦克风 .....	193
4.3.3	电容压缩式麦克风 .....	194
4.3.4	集成麦克风 .....	198
4.4	加速度传感器 .....	201
4.4.1	加速度传感器的建模 .....	202
4.4.2	压阻式加速度传感器 .....	205
4.4.3	电容加速度传感器 .....	206
4.4.4	压电式加速度传感器 .....	212
4.4.5	隧穿加速度传感器 .....	213
4.4.6	谐振式加速度传感器 .....	216
4.4.7	热传导加速度传感器 .....	218
4.4.8	三轴加速度传感器 .....	220
4.4.9	加速度传感器的制造 .....	222

4.5	陀螺	225
4.5.1	陀螺的原理	226
4.5.2	振动陀螺的动态模型	227
4.5.3	陀螺的结构与工作模式	230
4.5.4	频率匹配与振动模式解耦	241
4.5.5	陀螺的微加工技术	244
4.6	流量传感器	247
4.6.1	机械式流量传感器	247
4.6.2	热式流量传感器	248
<b>5</b>	<b>微型执行器</b>	<b>264</b>
5.1	静电执行器	265
5.1.1	平板电容执行器	265
5.1.2	梳状叉指电极执行器	274
5.1.3	静电马达	282
5.1.4	直线步进执行器	284
5.2	压电执行器	288
5.2.1	线性压电执行器	289
5.2.2	弯曲压电执行器	291
5.3	磁执行器	294
5.3.1	微型磁执行器的力和能量	296
5.3.2	线性执行器	297
5.3.3	扭转执行器	300
5.4	电热执行器	301
5.4.1	双膜片	303
5.4.2	热气驱动	305
5.5	其他执行器	305
5.5.1	光执行器	305
5.5.2	气动/压力执行器	306
5.6	微泵	306
5.6.1	往复位移微泵	307
5.6.2	蠕动微泵	312
5.6.3	其他微泵	313
<b>6</b>	<b>射频微系统(RF MEMS)</b>	<b>323</b>
6.1	RF MEMS 概述	323
6.1.1	RF MEMS 器件	324
6.1.2	基于 RF MEMS 的收发器前端结构	325
6.2	MEMS 开关	327

6.2.1	开关的类型	327
6.2.2	MEMS 开关的静态特性	333
6.2.3	开关的动态特性	337
6.2.4	开关的电磁特性	338
6.2.5	MEMS 开关的制造	340
6.3	微机械谐振器	343
6.3.1	静电换能谐振器	345
6.3.2	梳状谐振器	347
6.3.3	梁式谐振器	352
6.3.4	圆形谐振器	360
6.3.5	薄膜体声波谐振器	365
6.3.6	谐振器的制造	366
6.4	基于谐振器的信号处理器	368
6.4.1	低损耗窄带 HF 和 MF 滤波器	369
6.4.2	混频滤波器	372
6.4.3	本机振荡器	376
6.5	可调电容、电感与压控振荡器	378
6.5.1	可调电容	378
6.5.2	电感	383
6.5.3	压控振荡器	387
6.6	微波毫米波 MEMS	389
6.6.1	微带线与共面波导	389
6.6.2	微波谐振器	391
6.6.3	三维集成与封装	392
6.7	MEMS 技术在天线中的应用	394
6.7.1	移相器与相控天线	394
6.7.2	用 MEMS 技术提高天线性能	395
<b>7</b>	<b>光学微系统(MOEMS)</b>	<b>407</b>
7.1	MEMS 材料与结构的光学性质	408
7.2	光通信器件	410
7.2.1	MEMS 光开关	410
7.2.2	MEMS 微镜的设计	433
7.2.3	微镜的制造	447
7.2.4	可变光学衰减器	453
7.3	显示器件	458
7.3.1	反射微镜 DMD	458
7.3.2	光栅光阀 GLV	464
7.3.3	薄膜微镜阵列 TMA	468

7.4	光学平台 .....	470
7.4.1	扫描显微镜 .....	470
7.4.2	菲涅耳微透镜 .....	472
7.5	可调激光器 .....	473
<b>8</b>	<b>生物医学微系统(BioMEMS)</b> .....	<b>482</b>
8.1	药物释放 .....	483
8.1.1	生物胶囊和微粒 .....	484
8.1.2	微针 .....	490
8.1.3	可植入微系统 .....	504
8.2	疾病诊断与治疗 .....	506
8.2.1	传感器 .....	506
8.2.2	执行器 .....	507
8.3	神经探针 .....	508
8.3.1	高密度神经探针阵列 .....	508
8.3.2	无线接口可植入神经探针 .....	511
8.4	组织工程 .....	512
8.4.1	支架制备 .....	513
8.4.2	细胞培养 .....	515
8.4.3	细胞培养和图形化的应用 .....	516
8.5	细胞与分子操作 .....	519
<b>9</b>	<b>微流体与芯片实验室</b> .....	<b>529</b>
9.1	概述 .....	530
9.2	微流体的特性 .....	531
9.3	LOC制造技术 .....	532
9.3.1	硅和玻璃 .....	533
9.3.2	高分子聚合物 .....	535
9.3.3	软光刻母版和弹性印章 .....	537
9.3.4	软光刻图形复制 .....	540
9.3.5	软光刻制造微流体管道 .....	548
9.4	微流体的驱动与输运 .....	551
9.4.1	压力驱动 .....	552
9.4.2	电动力驱动 .....	556
9.5	LOC与微流体的基本操作 .....	566
9.5.1	试样预处理 .....	566
9.5.2	混合 .....	572
9.5.3	分离 .....	581

9.5.4	DNA 放大——PCR .....	602
9.5.5	集成试样处理系统 .....	604
9.6	检测技术 .....	606
9.6.1	光学检测 .....	606
9.6.2	电化学检测 .....	610
9.6.3	质谱检测 .....	616
9.7	LOC 的应用 .....	617
9.7.1	细胞生物学 .....	617
9.7.2	微流体 DNA 芯片 .....	621
9.7.3	蛋白质分析 .....	630



# 1

## 微系统概述

---

### 1.1 引言

微系统(microsystem)也称微电子机械系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)或微机械(micromachine),是利用集成电路(integrated circuit, IC)制造技术和微加工技术(micromachining 或 microfabrication)把微结构、微传感器、微执行器、控制处理电路甚至接口、通信和电源等制造在一块或多块芯片上的微型集成系统。微系统的出现使芯片远远超越了以处理电信号为目的的集成电路,其功能拓展到机、光、热、电、化学、生物等领域。广义地讲,集成电路是电子线路系统的微型化,而其他领域的微型化都可以划分在微系统的范畴。微系统具有微型化、集成化、智能化、成本低、性能高、可以大批量生产等优点,已经广泛应用于仪器测量、无线通信、能源环境、生物医学、军事国防、航空航天、汽车电子以及消费电子等多个领域,已经并将继续对人类的科学技术、工业、军事国防和经济领域产生深远的影响。

典型微系统的尺寸在微米到毫米量级,包括了微(机械)结构、传感器、执行器和控制电路等单元,可以实现测量、执行、能量转换和信息处理等功能,构成一个智能系统。图 1-1 所示为典型微系统的功能组成。其中,传感器感知外界信息将其转变为电信号并传递给处理电路,电信号经过电路处理后传递给执行器,执行器根据该信号做出响应、操作或者通信。这样,控制电路通过传感器、执行器和通信模块与外界联系起来,形成具有感知、思考、决策、通信和反应控制能力的智能系统。因此,微传感器、处理电路和微执行器的功能可以分别比作人的感官系统、大脑和手。

微系统的概念通常指一个较为全面的功能集成体,但是由于制造的限制,目前多数微系统只包括微机械结构、微传感器、微执行器中的一种或几种,而没有形成一个功能完善的系统。这种情况下更多地用 MEMS 一词来代替微系统。MEMS 这一名词已经被世界各国广泛接受并大量出现在文献中,本书主要使用 MEMS 一词。目前 MEMS 已经不仅仅局限于系统的概念,根据不同的场合,可以指微系统这种“产品”,也可以指设计这种“产品”的方法学或制造它的技术手段。