



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等院校微电子专业丛书

# 微电子学概论

(第三版)

张兴 黄如 刘晓彦 编著

WEIDIANZIXUE GAILUN

3  
03



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TN4-43  
Z212.03



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等院校微电子专业丛书

# 微电子学概论

(第三版)

张兴 黄如 刘晓彦 编著

TN4-43  
Z212.03



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是在2000年1月北京大学出版社出版的《微电子学概论》一书的基础上形成的。本书主要介绍了微电子技术的发展历史,半导体物理和器件物理基础知识,集成电路及SOC的制造、设计以及计算机辅助设计技术基础,光电子器件,机电系统技术、半导体材料、封装技术知识,最后给出了微电子技术发展的一些规律和展望。本书的特点是让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;同时让内行的人读完之后不觉得肤浅,体现出了微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。

本书可以作为微电子专业以及电子科学与技术、计算机科学与技术等相关专业的本科生和研究生的教材或教学参考书,同时也可以作为从事微电子或电子信息技术领域工作的科研开发人员、项目管理人员全面了解微电子技术的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

微电子学概论/张兴,黄如,刘晓彦编著. —3版. —北京:北京大学出版社,2010.2

(高等院校微电子专业丛书)

ISBN 978-7-301-16879-0

I. 微… II. ①张…②黄…③刘… III. 微电子技术—概论—高等学校—教材 IV. TN4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第016213号

书 名: 微电子学概论(第三版)

著作责任者: 张兴 黄如 刘晓彦 编著

责任编辑: 沈承凤

标准书号: ISBN 978-7-301-16879-0/TP·1080

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子信箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752038 出版部 62754962

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

经 销 者: 新华书店

787mm×980mm 16开本 23.5印张 583千字

2000年1月第1版 2005年6月第2版

2010年2月第3版 2010年2月第1次印刷

定 价: 42.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: (010)62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

## 序 言

这本书的三位作者都是北京大学的青年教师,也都是我和韩汝琦教授的学生。为他们即将出版的书写序言,自然有一番格外的喜悦。江山代代自有人才出,这原是客观规律,只有后浪推前浪,才能形成“不尽长江滚滚来”。

微电子科学技术和产业发展的重要性,首先表现在当代的食物链上,即国内生产总值(GDP)每增加 100~300 元,就必须有 10 元电子工业和 1 元集成电路产值的支持。而且据相关数据表明,发达国家或是走向发达的国家过程中,在经济增长方面都有这样一条规律:电子工业产值的增长速率是 GNP 增长速率的 3 倍,微电子产业的增长速率又是电子工业增长速率的 2 倍。因此可以毫不夸张地说,谁不掌握微电子技术,谁就不可能成为真正意义上的经济大国,对于像我们这样一个社会主义大国更是如此。

发展微电子产业和微电子科学技术的关键在于培养高素质的人才,因此让广大理工科特别是信息技术学科的大学生掌握微电子的相关知识是十分重要的,由张兴、黄如、刘晓彦三位年轻教授编著的《微电子学概论》正是出于此目的,为非微电子专业的学生讲授关于微电子的相关基础知识,这必将有助于培养出更多的微电子发展综合人才,促进我国微电子产业规模和科学技术水平的提高。

如何组织这些相关知识,还有待于在实践中探索研究。我个人认为还是要包含微电子科学技术的主要内容,包括半导体器件物理、系统行为级的设计考虑、制造过程、测试封装的关键技术以及发展方向,如目前发展潜力巨大的微机电系统技术等等,并且应当把“Top to Down”的设计方法学作为重点内容之一。

我相信,在他们三位的努力下,《微电子学概论》这本书的质量一定会越来越好。我期待着《微电子学概论》早日出版,尽快与广大读者见面,使更多的人从中受益。



1999 年春于燕园

## 第三版前言

距 1999 年我们完成《微电子学概论》第一版的时间已经过去 10 年了,在这 10 年里,微电子科学技术也得到了突飞猛进的发展,集成电路制造工艺已经实现了 45 nm 工艺量产,微处理器技术也已进入了多核时代,同时随着系统集成芯片(SOC)技术和系统级封装(SiP)技术的迅速崛起,困扰集成电路产业的“摩尔定律”终结问题似乎也找到了新的突破方向。

过去的 10 年也是我国微电子产业迅速发展的 10 年。在 2008 年开始实施的国家重大科技专项中,与微电子密切相关有“核心电子器件、高端通用芯片及基础软件”、“极大规模集成电路制造装备与成套工艺”两项,在国务院 2008 年通过的“十大产业振兴计划”之一的电子信息产业振兴计划的六大工程中,集成电路产业技术水平和产能提升被列在第一位。随着我国国民经济的快速发展尤其是信息化过程的加快,对集成电路产品的需求持续快速增长。我国的微电子产业已经进入了黄金发展时期。

为了感谢广大读者对《微电子学概论》一书的厚爱,同时也为了适应微电子科学技术快速发展的特点和我国微电子科学技术及产业快速发展的现状,使广大读者能够对微电子技术的最新进展有一个更为全面的了解,我们组织人员编写了《微电子学概论》的第三版。

在编写第三版时,我们继续坚持了编写第一版时制定的两个原则:(1) 让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学有一个总体的、全面的了解;(2) 让内行的人读完之后不觉着肤浅,要体现出微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。除此之外,我们力求能够较为全面地反映近些年来微电子科学技术的最新科学成就,但由于我们的水平和篇幅所限,肯定还会有很多遗漏,加之时间的关系,只好等以后再逐步完善了。

在第三版中变化比较大的章节有:新增加了第五章半导体材料,本章介绍了半导体材料的物理基础和集成电路工艺中衬底、栅、源漏、存储电容、互连等几个方面对材料的要求;将原来封装技术从第二版的第四章中独立出来,扩充成为第十一章;重新改写了第三章,删除了双极和 BiCMOS 集成电路基础部分,增加了半导体存储器集成电路;删除了第十一章纳电子器件;同时对其他章节也一并进行了修改、补充和完善。

这样,第三版的《微电子学概论》一书共分为 12 章,第一章简述了微电子技术的发展历史,第二章讨论了半导体物理和器件物理基础,第三章介绍集成电路基础,第四章介绍了集成电路制造工艺,第五章讨论了半导体材料;第六章介绍集成电路设计,第七章阐述了集成电路计算机辅助设计技术,第八章介绍了 SOC 的相关知识,第九章简要介绍了光电子器件,第十章讨论了微机电系统技术,第十一章介绍了集成电路封装技术,最后,在第十二章给出了微电子技术发展的一些规律和展望。与第二版相比,新增的第五章由刘力锋副教授、康晋

锋教授编写,第十一章由金玉丰教授编写,第三章由刘晓彦教授进行了改写,第四章由孙雷副教授进行了改写,第六章、第七章、第八章由黄如教授进行了改写,最后由张兴教授、王源副教授、甘学温教授对全书进行了审核和修改。

王阳元院士、韩汝琦教授、何进教授、傅云义教授、王漪教授、王新安教授、张盛东教授、贾嵩副教授、安辉耀博士等对本书的再版提出了许多建设性的意见,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

张兴、黄如、刘晓彦  
2009年秋于北京大学

## 第二版前言

微电子学科的生命力就体现在她是一个发展极为迅速的学科,现在距 1999 年我们完成《微电子学概论》第一版的时间已经过去 5 年了。在这五年里,微电子科学技术也得到了突飞猛进的发展,系统集成芯片(SOC)技术迅速崛起,光电子技术发展日新月异,纳电子技术也开始取得重要的突破性进展。

另外,近五年也是我国微电子科学技术及产业迅速崛起的 5 年。记得 5 年前还有很多人怀疑我国的微电子技术到底该如何发展,现在随着中芯国际 12 英寸大规模集成电路生产线等一批高水平集成电路制造企业的出现,我国的微电子产业进入了黄金发展时期。

为了感谢广大读者对《微电子学概论》一书的厚爱,同时也为了适应微电子科学技术快速发展的特点和我国微电子科学技术及产业快速发展的现状,使广大读者能够对微电子技术的最新进展有一个更为全面的了解,我们组织人员编写了《微电子学概论》的第二版。

在编写第二版时,我们继续坚持了编写第一版时制定的两个原则:(1) 让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;(2) 让内行的人读完之后不觉得肤浅,要体现出微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。除此之外,我们着重考虑了要力求能够较为全面地反映近 5 年来微电子科学技术的最新科学成就,但由于我们的水平和篇幅所限,肯定还会有很多遗漏,但由于时间的关系,只好等以后再逐步完善了。

在第二版中变化比较大的章节有:新增加了第十章纳电子器件,本章主要介绍了纳电子器件的基础知识和一些新型的纳电子器件;将原来的 SOC 部分从第一版中的第五章独立出来,扩充成为第七章;重新改写了原来的特种微电子器件一章,改造成为现在的第八章光电子器件;补充了微机电系统一章中的内容;同时对其他章节也都进行了修改、补充和完善。

这样,第二版的《微电子学概论》一书共分为 11 章,第一章简述了微电子技术的发展历史,第二章讨论了半导体物理和器件物理基础,第三章介绍集成电路基础,第四章介绍了集成电路制造工艺,第五章介绍集成电路设计,第六章阐述了集成电路计算机辅助设计技术,第七章介绍了 SOC 的相关知识,第八章简要介绍了光电子器件,第九章讨论了微机电系统技术,第十章介绍了目前极具发展潜力的纳电子器件,最后在第十一章将给出微电子技术发展的一些规律和展望。其中第七章由黄如教授、蒋安平博士编写;第八章由王金延博士编写,第十章由傅云义博士编写,第九章由吴文刚博士重新编写,第四章由关旭东教授进行了重新编写,第一、十一章由甘学温教授进行了修改补充,第五、六章由黄如教授进行了修改,第二、三章由刘晓彦教授进行了修改,最后由张兴教授对全书进行了审核。

王阳元院士对本书的再版提出了许多建设性的意见,我们三人及本书的主要人员大多

都是王老师的学生,我们取得的任何成绩都是与王老师的亲切教诲分不开的,在此向王老师表示最诚挚的感谢。

韩汝琦教授、吉利久教授、康晋锋教授、郝一龙教授、张大成教授、赵宝瑛教授、张天义教授等审阅了部分手稿,并与作者进行了多次有益的讨论,提供了一些原始资料,使我们受益匪浅,在此,向他们表示衷心的感谢。

张兴、黄如、刘晓彦  
2004 年秋于北京大学



## 前 言

自本世纪 50 年代晶体管诞生以来,微电子技术发展异常迅速,目前已进入甚大规模集成电路和系统集成时代,微电子已经成了整个信息时代的标志和基础。可以毫不夸张地说,没有微电子就没有今天的信息社会。

各种电子系统都需要大量的集成电路和集成系统芯片,这样,除了从事微电子专业的人员之外,其他相关专业如计算机、电子学、自动控制、通信等领域的人员都非常需要和渴望了解微电子知识。正是在这种情况下,北京大学开设了《微电子学概论》这门新课。该课程的主要目的是使学生对微电子学的基本知识有一个比较系统、全面的了解和认识。这对于培养新型信息领域的人才是非常重要的。该课程的另一个目的是使刚入校不久的微电子专业的学生了解什么是微电子、微电子的研究领域是什么,通过该课程对微电子有一个总体的全面的了解,培养对微电子的兴趣。在北京大学,微电子学概论已经列入校级主干基础课。

目前国内有关微电子学概论方面的教材很少,很难找到一本合适的教材,为此,我们组织人员编写了《微电子学概论》教材。该书由张兴博士、黄如博士和刘晓彦博士共同编著。

在编写这本教材时,我们制定了两个原则:第一是让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;第二是让内行的人读完之后不觉着肤浅,要体现出微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。现在这本书写完了,再回过头来看这本书,似乎这两个要求并没有完全体现出来,特别是第一点,实现起来似乎更加困难。但由于时间的关系,只好等以后再逐步完善了。

全书共分为 9 章,第一章将简述微电子技术的发展历史,第二章讨论半导体物理和器件物理基础,第三章介绍集成电路基础,第四章介绍了集成电路制造工艺,第五章介绍集成电路设计,第六章阐述了集成电路计算机辅助设计技术,第七章简要介绍了几种重要的微电子器件,第八章讨论了目前极具发展潜力的微机电系统技术,最后在第九章将给出微电子技术发展的一些规律和展望。其中第一、四、七、八、九章由张兴博士执笔,第二、三章由刘晓彦博士执笔,第五、六章由黄如博士执笔,最后由张兴博士对全书进行了审核。

王阳元院士在百忙之中亲自为本书写了序言,并为本书提出了许多建设性的意见,我们三人都是王老师的学生,我们取得的任何成绩都是与王老师的亲切教诲分不开的,在此向王老师表示最诚挚的感谢。

韩汝琦教授、吉利久教授、倪学文教授、关旭东教授、李映雪教授、郝一龙副教授、张大成

高级工程师、赵宝瑛副教授、甘学温副教授、张天义副教授、蒋安平博士、康晋峰博士、李志宏博士、万新恒博士等审阅了部分手稿,并与作者进行了多次有益的讨论,提供了一些原始资料,使我们受益匪浅,在此,向他们表示衷心的感谢。

张兴、黄如、刘晓彦  
1999年春于北京大学

# 目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 晶体管的发明	(4)
1.2 集成电路的发展历史	(7)
1.3 集成电路的分类	(9)
1.3.1 按器件结构类型分类	(9)
1.3.2 按集成电路规模分类	(10)
1.3.3 按结构形式分类	(10)
1.3.4 按电路功能分类	(11)
1.3.5 集成电路的分类小结	(12)
1.4 微电子学的特点	(13)
第二章 半导体物理和器件物理基础	(15)
2.1 半导体及其基本特性	(15)
2.1.1 金属-半导体-绝缘体	(15)
2.1.2 半导体的掺杂	(17)
2.2 半导体中的载流子	(17)
2.2.1 半导体中的能带	(17)
2.2.2 多子和少子的热平衡	(21)
2.2.3 电子的平衡统计规律	(23)
2.3 半导体的电导率和载流子输运	(26)
2.3.1 迁移率	(27)
2.3.2 过剩载流子	(31)
2.4 pn 结	(33)
2.4.1 平衡 pn 结	(34)
2.4.2 pn 结的正向特性	(36)
2.4.3 pn 结的反向特性	(37)
2.4.4 pn 结的击穿	(39)
2.4.5 pn 结的电容	(41)

2.5	双极晶体管	(43)
2.5.1	双极晶体管的基本结构	(43)
2.5.2	晶体管的电流传输	(44)
2.5.3	晶体管的电流放大系数	(47)
2.5.4	晶体管的直流特性曲线	(48)
2.5.5	晶体的反向电流与击穿电压	(51)
2.5.6	晶体管的频率特性	(52)
2.6	MOS 场效应晶体管	(53)
2.6.1	MOS 场效应晶体管的基本结构	(54)
2.6.2	MIS 结构	(55)
2.6.3	MOS 场效应晶体管的直流特性	(58)
2.6.4	MOS 场效应晶体管的种类	(61)
2.6.5	MOS 场效应晶体管的电容	(62)
<b>第三章</b>	<b>大规模集成电路基础</b>	<b>(65)</b>
3.1	半导体集成电路概述	(65)
3.2	CMOS 集成电路基础	(67)
3.2.1	集成电路中的 MOSFET	(67)
3.2.2	MOS 数字集成电路	(68)
3.2.3	CMOS 集成电路	(72)
3.3	半导体存储器集成电路	(75)
3.3.1	存储器的种类和基本结构	(75)
3.3.2	随机存取存储器 (RAM)	(77)
3.3.3	掩模只读存储器 (ROM)	(78)
3.3.4	可编程只读存储器 PROM	(79)
<b>第四章</b>	<b>集成电路制造工艺</b>	<b>(81)</b>
4.1	材料膜的生长——化学气相淀积(CVD)	(82)
4.1.1	化学气相淀积方法	(82)
4.1.2	单晶硅的化学气相淀积(外延)	(83)
4.1.3	二氧化硅的化学气相淀积	(84)
4.1.4	多晶硅的化学气相淀积	(84)
4.1.5	氮化硅的化学气相淀积	(85)
4.1.6	金属有机物化学气相淀积(MOCVD)	(85)
4.2	二氧化硅材料的特有生长方法——氧化	(85)

4.2.1	SiO <sub>2</sub> 的性质及其作用	(85)
4.2.2	热氧化形成 SiO <sub>2</sub> 的机理	(86)
4.2.3	氧化形成 SiO <sub>2</sub> 的方法	(87)
4.3	材料膜的生长——物理气相淀积	(89)
4.4	向衬底材料的图形转移——光刻	(90)
4.4.1	光刻工艺简介	(90)
4.4.2	几种常见的光刻方法	(91)
4.4.3	超细线条光刻技术	(92)
4.5	材料膜的选择性去除——刻蚀	(93)
4.6	扩散与离子注入	(95)
4.6.1	扩散	(95)
4.6.2	扩散工艺	(96)
4.6.3	离子注入	(98)
4.6.4	离子注入原理	(99)
4.6.5	退火	(100)
4.7	接触与互连	(101)
4.7.1	CMP(化学机械抛光)	(101)
4.7.2	Cu 互连的大马士革工艺	(102)
4.7.3	难熔金属硅化物栅及其复合结构	(102)
4.7.4	多层互连	(104)
4.8	隔离技术	(105)
4.9	MOS 集成电路工艺流程	(108)
4.10	集成电路工艺小结	(111)
<b>第五章</b>	<b>半导体材料</b>	<b>(114)</b>
5.1	引言	(114)
5.2	半导体材料基础	(115)
5.2.1	材料的晶体结构	(115)
5.2.2	化学键和固体的结合	(118)
5.2.3	能带论	(121)
5.2.4	晶体的缺陷	(121)
5.2.5	晶体的掺杂	(125)
5.3	衬底材料	(125)
5.3.1	Si 材料	(125)
5.3.2	GeSi 材料	(126)

5.3.3	应变 Si 材料	(127)
5.3.4	SOI 材料	(128)
5.3.5	GaN 材料	(129)
5.4	栅结构材料	(130)
5.4.1	栅电极材料	(130)
5.4.2	栅绝缘介质材料	(130)
5.5	源漏材料	(133)
5.6	存储电容材料	(134)
5.6.1	DRAM 存储电容材料	(135)
5.6.2	闪速存储器(Flash)	(136)
5.6.3	非挥发性铁电存储器(FeRAM)	(137)
5.6.4	磁随机存储器(MRAM)	(140)
5.6.5	相变存储器(PCRAM)	(141)
5.6.6	电阻式存储器(RRAM)	(143)
5.7	互连材料	(145)
<b>第六章</b>	<b>集成电路设计</b>	<b>(151)</b>
6.1	集成电路的设计特点与设计信息描述	(151)
6.1.1	设计特点	(151)
6.1.2	设计信息描述	(153)
6.2	集成电路的设计流程	(155)
6.2.1	功能设计	(157)
6.2.2	逻辑与电路设计	(158)
6.2.3	版图设计	(159)
6.3	集成电路的版图设计规则	(161)
6.3.1	以 $\lambda$ 为单位的設計規則	(161)
6.3.2	以 $\mu\text{m}$ 为单位的設計規則	(163)
6.4	集成电路的设计方法	(165)
6.4.1	集成电路的设计方法选择	(165)
6.4.2	全定制设计方法	(166)
6.4.3	标准单元设计方法(SC方法)和积木块设计方法(BBL方法)	(167)
6.4.4	门阵列设计方法(GA方法)	(173)
6.4.5	可编程逻辑电路设计方法	(177)
6.5	几种集成电路设计方法的比较	(183)
6.6	可测性设计技术	(185)

---

6.7	集成电路设计举例 .....	(187)
<b>第七章</b>	<b>集成电路设计的 EDA 系统 .....</b>	<b>(194)</b>
7.1	集成电路设计的 EDA 系统概述 .....	(194)
7.2	高层级描述与模拟 .....	(195)
7.2.1	VHDL .....	(195)
7.2.2	Verilog .....	(199)
7.3	综合 .....	(200)
7.4	逻辑模拟 .....	(201)
7.4.1	逻辑模拟的基本概念和作用 .....	(201)
7.4.2	逻辑模拟模型 .....	(201)
7.5	电路模拟 .....	(203)
7.5.1	电路模拟的基本概念 .....	(203)
7.5.2	电路模拟的基本功能 .....	(204)
7.5.3	电路模拟软件的基本结构 .....	(205)
7.6	时序分析 .....	(207)
7.7	版图设计的 EDA 工具及制版 .....	(208)
7.7.1	版图设计的基本概念 .....	(208)
7.7.2	版图的自动设计 .....	(209)
7.7.3	版图的半自动设计 .....	(210)
7.7.4	版图的人工设计 .....	(211)
7.7.5	版图检查与验证 .....	(211)
7.7.6	制版 .....	(213)
7.7.7	版图数据交换的格式 .....	(214)
7.8	器件模拟 .....	(214)
7.8.1	器件模拟的基本概念 .....	(214)
7.8.2	器件模拟的基本原理 .....	(215)
7.8.3	器件模拟的基本功能及所用模型 .....	(215)
7.8.4	器件模拟的输入文件 .....	(217)
7.9	工艺模拟 .....	(220)
7.9.1	工艺模拟的基本概念 .....	(220)
7.9.2	工艺模拟的基本内容 .....	(221)
7.10	计算机辅助测试(CAT)技术 .....	(221)
7.10.1	故障模型 .....	(222)
7.10.2	测试向量生成 .....	(223)

7.10.3	故障模拟和故障诊断	(224)
<b>第八章</b>	<b>系统芯片(SOC)设计</b>	<b>(226)</b>
8.1	系统芯片的基本概念和特点	(227)
8.2	SOC 设计过程	(230)
8.3	SOC 关键技术及目前面临的主要问题	(231)
8.3.1	软硬件协同设计	(231)
8.3.2	IP 复用技术	(232)
8.3.3	SOC 验证	(235)
8.3.4	SOC 测试	(237)
8.3.5	SOC 的物理设计考虑	(240)
8.3.6	FPGA SOC	(240)
8.4	SOC 的发展趋势	(241)
<b>第九章</b>	<b>光电子器件</b>	<b>(244)</b>
9.1	固体中的光吸收和光发射	(244)
9.1.1	固体中的光吸收过程	(245)
9.1.2	固体中的光发射过程	(246)
9.2	半导体发光二极管	(248)
9.2.1	半导体发光二极管的工作原理	(249)
9.2.2	半导体发光二极管的材料	(251)
9.2.3	半导体发光二极管的结构	(254)
9.3	半导体激光器	(255)
9.3.1	半导体激光器的工作原理	(255)
9.3.2	半导体激光器的结构和特性	(258)
9.4	光电探测器	(259)
9.4.1	基本的光电效应	(260)
9.4.2	光电导探测器	(261)
9.4.3	光电二极管	(262)
9.4.4	光电晶体管	(264)
9.4.5	电荷耦合器件	(266)
9.5	半导体太阳能电池	(269)
9.5.1	光生伏特效应	(269)
9.5.2	光电转换效率	(271)
9.5.3	异质结和非晶硅太阳能电池	(273)



<b>第十章 微机电系统</b> .....	(276)
10.1 微机电系统的基本概念.....	(276)
10.2 几种重要的 MEMS 器件 .....	(279)
10.2.1 微加速度计(Micro-Accelerometer) .....	(279)
10.2.2 微陀螺(Micro-Gyroscope).....	(282)
10.2.3 MEMS 光开关(MEMS Optical Switch) .....	(284)
10.2.4 射频 MEMS 器件(RF MEMS) .....	(287)
10.2.5 生物 MEMS(BioMEMS) .....	(291)
10.2.6 微马达.....	(294)
10.3 MEMS 加工工艺 .....	(295)
10.3.1 硅微机械加工工艺 .....	(296)
10.3.2 LIGA 加工工艺 .....	(300)
10.4 MEMS 技术发展的趋势 .....	(302)
10.5 纳机电系统.....	(304)
<b>第十一章 集成电路封装</b> .....	(308)
11.1 概述.....	(308)
11.1.1 微电子封装的发展历史 .....	(310)
11.1.2 集成电路封装技术的地位和作用 .....	(311)
11.2 集成电路器件封装基础知识.....	(312)
11.2.1 塑料封装 .....	(312)
11.2.2 金属封装 .....	(317)
11.2.3 陶瓷封装 .....	(320)
11.3 微电子二级封装.....	(321)
11.3.1 SMT 工艺流程.....	(322)
11.3.2 多芯片模块(MCM) .....	(323)
11.4 先进封装技术.....	(325)
11.4.1 BGA 和 CSP .....	(325)
11.4.2 倒装键合(Flip Chip)技术 .....	(327)
11.4.3 芯片级封装与 3D 集成 .....	(328)
11.4.4 系统封装(SiP) .....	(331)
11.4.5 MEMS 与 RF 微系统封装.....	(332)
11.4.6 宽禁带半导体高温电子封装 .....	(332)
11.4.7 绿色封装技术 .....	(333)