

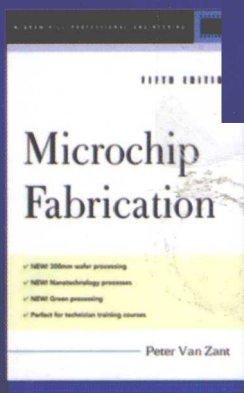
国外电子与通信教材系列

Mc  
Graw  
Hill

# 芯片制造

——半导体工艺制程实用教程  
(第五版)

**Microchip Fabrication**  
**A Practical Guide to Semiconductor Processing**  
Fifth Edition



[美] Peter Van Zant 著  
韩郑生 赵树武 译



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 芯片制造

## ——半导体工艺制程实用教程

(第五版)

Microchip Fabrication: A Practical Guide to  
Semiconductor Processing  
Fifth Edition

[美] Peter Van Zant 著

韩郑生 赵树武 译

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是一部介绍半导体集成电路和器件技术的专业书籍。其英文版在半导体领域享有很高的声誉,被列为业界最畅销的书籍之一,第五版的出版就是最好的证明。本书的范围包括半导体工艺的每个阶段,从原材料制备到封装、测试以及传统和现代工艺。每章包含有习题和复习总结,并辅以丰富的术语表。本书主要特点是简洁明了,避开了复杂的数学理论,非常便于读者理解。本书与时俱进地加入了半导体界的最新成果,可使读者了解工艺技术发展的最新趋势。

本书可作为高等院校电子科学与技术专业和职业技术培训的教材,也可作为半导体专业人员的参考书。

Peter Van Zant.

Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing, Fifth Edition.

ISBN: 0-07-143241-8. Copyright © 2004, 2000, 1997, 1984 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 in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版专有出版权由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。专有出版权受法律保护。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 公司的激光防伪贴,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2010-4328

### 图书在版编目(CIP)数据

芯片制造:半导体工艺制程实用教程:第5版/(美)赞特(Zant, P. V.)著;韩郑生,赵树武译.-北京:电子工业出版社,2010.8

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing, Fifth Edition

ISBN 978-7-121-11372-7

I. ①芯… II. ①赞… ②韩… ③赵… III. ①芯片-半导体工艺-高等学校-教材 IV. ①TN430.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第134194号

策划编辑:马 岚

责任编辑:李秦华

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:647千字

印 次:2010年8月第1次印刷

定 价:55.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

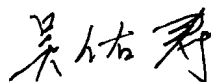
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长	

# 译者序

电子产品已成为国民经济的支柱产业,半导体集成电路和器件正是这一产业的核心。制造半导体集成电路和器件的技术,也是衡量国家科技发展水平的重要标志之一。本书是一部介绍半导体集成电路和器件的专业书籍。除了从半导体材料制备到最终产品封装、测试的生产技术全过程,还在第15章介绍了制造过程中的经济成本方面的内容。

随着集成电路技术和产品的快速发展,作者Peter Van Zant先生在本书的第五版新增了300 mm晶圆制造工艺、纳米技术工艺、凸点倒扣焊封装工艺和下一代光刻技术等前沿研究内容。

本书的特点是简洁明了和通俗易懂,并在每章后配备了习题,适用于作为培训和教学的教材。

译者在这一版翻译中注重了术语概念的准确性和国内业界的习惯。例如,把“patterning”译为“图形化工艺”,这是因为它包含光刻、刻蚀和去胶工艺。在集成电路初期,仅有湿法刻蚀工艺时,光刻和刻蚀在一个工艺组或同属一道工序。当干法刻蚀出现后,在工艺线中已明确地将其分成了两个工序。不过,有时“patterning”也特指光刻工艺。为了将作者的原意准确全面地表达出来,把“in and on wafer”译为“在晶圆内和上面”,把“mask/reticle”译为“掩模版/放大掩模版”。虽然,业界习惯将“wafer”叫做“硅片”,在本译本中统一把它译为“晶圆”以便和芯片“chip、die”区别。把“layering”译为“薄膜工艺”、“drive-in”译为“推进”、“undercutting”译为“钻蚀”、“wafer sort”译为“中测”、“gate array”译为“门阵列”等。另外,“mask”一词,在指半导体上生长或沉积的介质膜(如氧化硅、氮化硅膜)做掩蔽的膜时,译为“掩膜”;在指半导体光刻工艺所用的掩模版时,译为“掩模”。

书中也有不合写作规范之处,例如未将图和表分别标识,将表全都作为插图处理,甚至公式和化学反应式也一并作为插图。为了尊重原版,在此并未重新处理。

由于译者水平和时间紧促,译本中错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

感谢电子工业出版社推荐我承担此项翻译工作。感谢我的爱人刘静给予的支持。

韩郑生  
中国科学院微电子研究所  
2010年于北京

## 上版译者的话

很高兴看到《芯片制造——半导体工艺制程实用教程》一书的第五版的中译版出版发行，几年前我组织原摩托罗拉（中国）电子有限公司天津半导体集成制造中心的20多位从业工程师（赵树武、朱践知、于世恩等）翻译本书第四版的时候，一方面大家是出于兴趣，另一方面正是看到它和我国鼓励发展半导体产业发展的政策非常契合，再加上其内容简洁明了和通俗易懂，以及适用于作为培训和教学教材的突出特点。去年底从电子工业出版社得知第四版的译书得到了业界的认可，很是欣喜。对于第五版的翻译工作非常支持，但由于精力和资源所限，不能再次承担。非常感谢出版社马岚老师推荐中国科学院微电子研究所的韩郑生主任承担了本书第五版的翻译工作。在本书新版本的出版发行之际再次对上一版本的翻译团队表示感谢。

赵树武  
2010年7月



## 第五版前言

尽管经济衰退，微芯片产业持续地向着硅基集成电路的物理极限进化。非常幸运，结局总是恰好越过山岗，并且产业保持不稳定的进步。遗憾的是，现在伴随着微芯片制造技术前进的步伐，教科书也要频繁更新。因此就出现了本书第五版。

这一版遵循前几版同样的章节顺序。这将有助于教师更新他们的教学课程。幸运的是，半导体器件工作和晶圆工艺的基础保持一样，也将是这一版的基础。

感谢我的编辑 Steve Chapman。感谢对我写作进度表的指导和耐心。

非常感谢半导体服务 (Semiconductor Services) 的 Anne Miller 和 Michael Heynes 给予的咨询和付出。感谢半导体国际 (Semiconductor International) 的 Alex Braun 和未来制造国际 (Future Fab International) 的 Nikki Wood 允许作者从他们精美的出版物中复制资料方面给予了最大的帮助。感谢 J. K. Eckert & Co. 的 Jeff Eckert 做了细致地组织 600 多幅图和编辑手稿的工作。感谢 Mark Hall Design 的 Mark Hall 和 David Wellner 所做的将我的手工绘图转换成易于理解的插图的工作。

最后，感谢我的妻子 Mary Dewitt 忍受我写作到凌晨 5:30 和她不懈的支持。

## 关于作者

Peter Van Zant 是一个国际知名的半导体专家，具有广阔的工艺工程、培训、咨询和写作方面的背景，以他名字命名成立了 Peter Van Zant 协会并担任该协会的的领导，该协会是一个对商务和产业提供写作、培训和咨询服务的企业，他是《半导体技术词汇》(第三版) (*Semiconductor Technology Glossary, Third Edition*)、《集成电路教程》(*Integrated Circuits Text*)、《安全第一手册》(*Safety First Manual*) 和《芯片封装手册》(*Chip Packaging Manual*) 的作者。他的书和培训教程被芯片制造商、产业供货商、学院和大学所采用。Peter Van Zant 协会的客户包括英特尔公司 (Intel)、国家半导体公司 (National Semiconductor)、应用材料 (Applied Materials)、航空产品和化学品 (Air Products and Chemicals), SCP Global Inc. 和一些教育机构。Peter Van Zant 先生还是他家乡加州内华达 (Nevada) 第一选区的监督人。

# 目 录

<b>第 1 章 半导体工业</b> .....	1
1.1 一个工业的诞生 .....	1
1.2 固态时代 .....	2
1.3 集成电路 .....	2
1.4 工艺和产品趋势 .....	4
1.5 特征图形尺寸的减小 .....	5
1.6 芯片和晶圆尺寸的增大 .....	5
1.7 缺陷密度的减小 .....	6
1.8 内部连线水平的提高 .....	6
1.9 SIA 的发展方向 .....	7
1.10 芯片成本 .....	7
1.11 半导体工业的发展 .....	8
1.12 半导体工业的构成 .....	9
1.13 生产阶段 .....	9
1.14 结型晶体管 .....	11
1.15 工业发展的 50 年 .....	12
1.16 纳米时代 .....	13
习题 .....	14
参考文献 .....	14
<b>第 2 章 半导体材料和化学品的性质</b> .....	16
2.1 原子结构 .....	16
2.2 元素周期表 .....	17
2.3 电传导 .....	19
2.4 绝缘体和电容器 .....	19
2.5 本征半导体 .....	20
2.6 掺杂半导体 .....	20
2.7 电子和空穴传导 .....	22
2.8 载流子迁移率 .....	23
2.9 半导体产品材料 .....	23
2.10 半导体化合物 .....	23
2.11 锗化硅 .....	24
2.12 衬底工程 .....	25
2.13 铁电材料 .....	25
2.14 金刚石半导体 .....	25

2.15	工艺化学品 .....	25
2.16	物质的状态 .....	26
2.17	等离子体 .....	26
2.18	物质的性质 .....	27
2.19	压力和真空 .....	28
2.20	酸, 碱和溶剂 .....	28
2.21	材料安全数据表 .....	30
	习题 .....	30
	参考文献 .....	30
<b>第3章</b>	<b>晶体生长与硅晶圆制备 .....</b>	<b>31</b>
3.1	简介 .....	31
3.2	半导体硅制备 .....	31
3.3	晶体材料 .....	32
3.4	晶体定向 .....	33
3.5	晶体生长 .....	34
3.6	晶体和晶圆质量 .....	36
3.7	晶圆准备 .....	37
3.8	切片 .....	39
3.9	晶圆刻号 .....	39
3.10	磨片 .....	39
3.11	化学机械抛光 (CMP) .....	40
3.12	背面处理 .....	40
3.13	双面抛光 .....	40
3.14	边缘倒角和抛光 .....	40
3.15	晶圆评估 .....	41
3.16	氧化 .....	41
3.17	包装 .....	41
3.18	工程化晶圆 (衬底) .....	41
	习题 .....	41
	参考文献 .....	42
<b>第4章</b>	<b>晶圆制造概述 .....</b>	<b>43</b>
4.1	晶圆生产的目标 .....	43
4.2	晶圆术语 .....	44
4.3	晶圆生产的基础工艺 .....	44
4.4	电路设计 .....	48
4.5	光刻母版和掩模版 .....	49
4.6	晶圆制造实例 .....	50
4.7	芯片术语 .....	53
4.8	晶圆中测 .....	54
4.9	集成电路的封装 .....	55

4.10 小结 .....	56
习题 .....	56
参考文献 .....	56
<b>第 5 章 污染控制 .....</b>	<b>57</b>
5.1 简介 .....	57
5.2 问题 .....	57
5.3 污染源 .....	60
5.4 洁净室的建设 .....	67
5.5 洁净室的物质与供给 .....	75
5.6 洁净室的维护 .....	75
5.7 芯片表面清洗 .....	75
习题 .....	84
参考文献 .....	84
<b>第 6 章 生产能力和工艺良品率 .....</b>	<b>87</b>
6.1 良品率测量点 .....	87
6.2 累积晶圆生产良品率 .....	88
6.3 晶圆生产良品率的制约因素 .....	89
6.4 晶圆电测良品率要素 .....	92
6.5 封装和最终测试良品率 .....	97
6.6 整体工艺良品率 .....	97
习题 .....	98
参考文献 .....	99
<b>第 7 章 氧化 .....</b>	<b>100</b>
7.1 二氧化硅层的用途 .....	100
7.2 热氧化机制 .....	102
7.3 热氧化方法 .....	106
7.4 水平管式反应炉 .....	106
7.5 立式反应炉 .....	111
7.6 快速升温反应炉 .....	112
7.7 快速热处理 (RTP) .....	112
7.8 高压氧化 .....	114
7.9 氧化工艺的自动化 .....	118
7.10 氧化前晶圆的清洗 .....	118
7.11 氧化工艺 .....	118
7.12 氧化后评估 .....	119
习题 .....	120
参考文献 .....	121
<b>第 8 章 基本图形化工艺流程——从表面准备到曝光 .....</b>	<b>123</b>
8.1 简介 .....	123

8.2	光刻蚀工艺概述 .....	124
8.3	光刻 10 步法 .....	126
8.4	基本的光刻胶化学 .....	127
8.5	光刻胶性能的要害 .....	129
8.6	正胶和负胶的比较 .....	131
8.7	光刻胶的物理属性 .....	133
8.8	光刻工艺 .....	135
8.9	表面准备 .....	135
8.10	涂光刻胶 ( 旋转式 ) .....	137
8.11	软烘焙 .....	141
8.12	对准和曝光 .....	144
8.13	先进的光刻 .....	150
	习题 .....	150
	参考文献 .....	150
<b>第 9 章</b>	<b>基本图形化工艺流程——从显影到最终检验 .....</b>	<b>151</b>
9.1	显影 .....	151
9.2	硬烘焙 .....	155
9.3	集成图形工艺 .....	156
9.4	刻蚀 .....	159
9.5	湿法刻蚀 .....	159
9.6	干法刻蚀 .....	163
9.7	光刻胶的去除 .....	167
9.8	最终目检 .....	169
9.9	掩模版制作 .....	170
9.10	小结 .....	171
	习题 .....	172
	参考文献 .....	172
<b>第 10 章</b>	<b>高级光刻工艺 .....</b>	<b>174</b>
10.1	VLSI/ULSI 集成电路图形处理过程中存在的问题 .....	174
10.2	其他曝光问题 .....	180
10.3	掩模版贴膜 .....	183
10.4	晶圆表面问题 .....	184
10.5	防反射涂层 .....	185
10.6	平坦化 .....	187
10.7	高级光刻胶工艺 .....	187
10.8	CMP 小结 .....	195
10.9	改进刻蚀工艺 .....	197
10.10	自对准结构 .....	198
10.11	刻蚀轮廓控制 .....	199

习题 .....	199
参考文献 .....	199
<b>第 11 章 掺杂 .....</b>	<b>202</b>
11.1 简介 .....	202
11.2 用扩散法形成掺杂区 .....	202
11.3 扩散形成的掺杂区和结 .....	203
11.4 扩散工艺的步骤 .....	206
11.5 淀积 .....	206
11.6 推进氧化 .....	212
11.7 离子注入简介 .....	214
11.8 离子注入的概念 .....	215
11.9 离子注入系统 .....	215
11.10 离子注入区域的杂质浓度 .....	220
11.11 离子注入层的评估 .....	222
11.12 离子注入的应用 .....	223
11.13 掺杂前景展望 .....	223
习题 .....	224
参考文献 .....	224
<b>第 12 章 薄膜淀积 .....</b>	<b>226</b>
12.1 简介 .....	226
12.2 化学气相淀积基础 .....	228
12.3 CVD 的工艺步骤 .....	230
12.4 CVD 系统分类 .....	231
12.5 常压 CVD 系统 .....	231
12.6 低压化学气相淀积 (LPCVD) .....	233
12.7 原子层淀积 .....	236
12.8 气相外延 .....	236
12.9 分子束外延 (MBE) .....	236
12.10 金属有机物 CVD (MOCVD) .....	237
12.11 淀积膜 .....	238
12.12 淀积的半导体膜 .....	238
12.13 外延硅 .....	238
12.14 多晶硅和非晶硅淀积 .....	242
12.15 SOS 和 SOI .....	243
12.16 在硅上砷化镓 .....	243
12.17 绝缘体和绝缘介质 .....	244
12.18 导体 .....	246
习题 .....	246
参考文献 .....	246

<b>第 13 章 金属化</b> .....	248
13.1 简介 .....	248
13.2 导体 - 单层金属 .....	248
13.3 导体 - 多层金属设计 .....	249
13.4 导体 .....	250
13.5 电化学镀膜 (ECP) .....	256
13.6 化学机械工艺 .....	256
13.7 金属薄膜的用途 .....	257
13.8 淀积方法 .....	258
13.9 真空泵 .....	263
13.10 小结 .....	266
习题 .....	267
参考文献 .....	267
<b>第 14 章 工艺和器件评估</b> .....	269
14.1 简介 .....	269
14.2 晶圆的电特性测量 .....	270
14.3 工艺和器件评估 .....	271
14.4 物理测试方法 .....	273
14.5 层厚的测量 .....	273
14.6 结深 .....	277
14.7 关键尺寸和线宽测量 .....	279
14.8 污染物和缺陷检测 .....	281
14.9 总体表面特征 .....	285
14.10 污染认定 .....	287
14.11 器件电学测量 .....	289
习题 .....	294
参考文献 .....	294
<b>第 15 章 晶圆加工中的商务因素</b> .....	296
15.1 摩尔定律和新晶圆工厂经济 .....	296
15.2 晶圆制造的成本 .....	297
15.3 设备 .....	302
15.4 拥有成本 .....	303
15.5 自动化 .....	304
15.6 工厂层次的自动化 .....	306
15.7 设备标准 .....	307
15.8 统计制程控制 (SPC) .....	308
15.9 库存控制 .....	311
15.10 质量控制和 ISO 9000 认证 .....	312
15.11 生产线组织 .....	312

习题 .....	313
参考文献 .....	314
<b>第 16 章 形成器件和集成电路的介绍 .....</b>	<b>315</b>
16.1 半导体器件的形成 .....	315
16.2 可替换（按比例缩小）的晶体管设计 .....	325
16.3 集成电路的形成 .....	326
16.4 Bi-MOS .....	334
16.5 超导体 .....	334
习题 .....	339
参考文献 .....	339
<b>第 17 章 集成电路的介绍 .....</b>	<b>341</b>
17.1 简介 .....	341
17.2 电路基础 .....	342
17.3 集成电路的类型 .....	343
17.4 下一代产品 .....	348
习题 .....	349
参考文献 .....	349
<b>第 18 章 封装 .....</b>	<b>350</b>
18.1 简介 .....	350
18.2 芯片的特性 .....	351
18.3 封装功能和设计 .....	352
18.4 封装操作工艺的概述 .....	353
18.5 封装工艺 .....	356
18.6 替代工艺 .....	361
18.7 转到封装区域 .....	362
18.8 封装工艺流程 .....	368
18.9 封装 - 裸芯片策略 .....	368
18.10 封装设计 .....	369
18.11 封装类型和技术小结 .....	373
习题 .....	373
参考文献 .....	374
<b>术语表 .....</b>	<b>375</b>



# 第1章 半导体工业

## 概述

本章通过历史产品的描述和工艺发展，以及半导体上升为世界主要工业来介绍半导体工业。

并将按照主流产品类型介绍主要生产阶段（从材料准备到封装生产）和解释晶体管结构与集成度水平。识别业界的产品和工艺发展趋势。

## 目的

完成本章后将能够：

1. 描述分立器件和集成电路的区别。
2. 说明术语“固态”、“平面工艺”、N型和P型半导体材料。
3. 列举出4个主要半导体工艺步骤。
4. 解释集成度和至少三种不同集成水平电路工艺的含义。
5. 列举出半导体制造的主要工艺和器件的发展趋势。

## 1.1 一个工业的诞生

电信号处理工业始于由Lee Deforest在1906年发明的真空三极管<sup>①</sup>。真空三极管使得收音机、电视机和其他消费类电子产品成为可能。它也是世界上第一台电子计算机的大脑，这台称为电子数字集成器和计算器（ENIAC）的计算机于1947年在宾西法尼亚的摩尔工程学院进行首次演示。

这台电子计算机和现代的计算机大相径庭。它占据约1500平方英尺<sup>②</sup>的面积，质量达30吨，工作时产生大量的热，并需要一个小型发电站来供电，花费了1940年时的400 000美元。ENIAC的制造用了19 000个真空管和数千个电阻及电容器（参见图1.1）。

尺寸（英尺）	30 × 50
质量（t）	30
真空管	18 000
电阻器	70 000
电容器	10 000
开关	6000
功耗（W） <sup>②</sup>	150 000
成本（1940年）	\$400 000

图 1.1 ENIAC的统计数据（源自：计算机技术基础，J. G. Giarratano, Howard W. Sams & Co., Indianapolis, 1983）

真空管有三个部件，由一个栅极和两个被其栅极分开的电极在玻璃密封的空间中构成（参见图1.2）。密封空间内部为真空，以防止部件烧毁并易于电子的自由移动。

真空管有两个重要的电子功能，开关和放大。开关是指电子器件可接通和切断电流；放大则较为复杂，它是指电子器件可把接收到的小信号（或电流）放大，并保持信号原有特征的功能。

① 1平方英尺 = 0.092 9 m<sup>2</sup> ——编者注。

② 1英尺 = 0.304 8 m ——编者注。