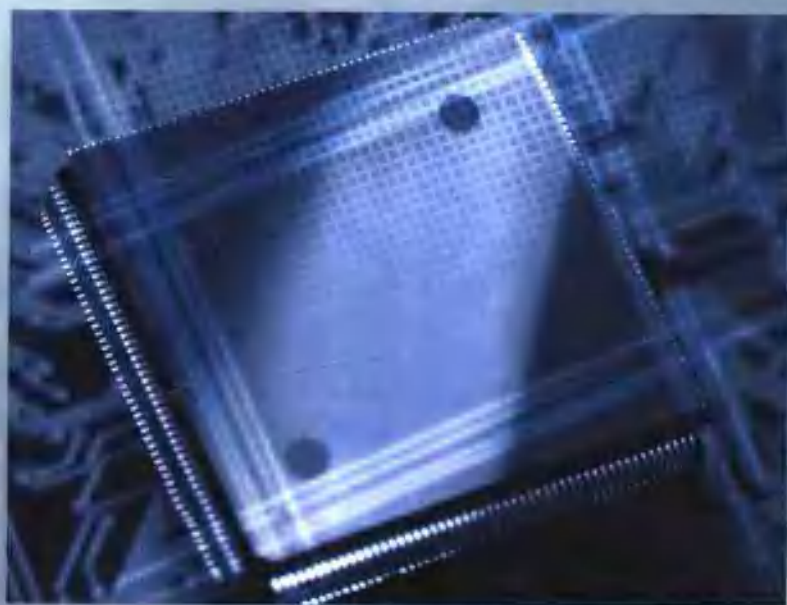


微电子技术系列丛书

# 微电子技术工程

——材料、工艺与测试



刘玉岭 檀柏梅 张楷亮 编著  
李薇薇 审校



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

微电子技术系列丛书

# 微电子技术工程

## ——材料、工艺与测试

刘玉岭 檀柏梅 张楷亮 编著  
李薇薇 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书介绍了微电子器件衬底材料性能、加工工艺与测试技术。全书共分 15 章, 内容涉及硅单晶性质与加工技术、外延、氧化、扩散、制版、图形转移、刻蚀、多层布线、封装、键合、微机械加工及检测技术。

本书可作为电子科学与技术学科高校教材, 也可作为教师、研究生的专业参考书, 同时对从事 IC 产业的企业和科研单位的专业技术人员也有重要的参考价值。

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。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

微电子技术工程: 材料、工艺与测试/刘玉岭, 檀柏梅, 张楷亮编著. —北京: 电子工业出版社, 2004.10  
(微电子技术系列丛书)

ISBN 7-120-00021-7

I. 微… II. ①刘…②檀…③张… III. 微电子技术 IV. TN4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 099496 号

责任编辑: 刘海艳

印 刷: 北京东光印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 42 字数: 1075.2 千字

印 次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 68.00 元

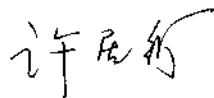
凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。  
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

## 序

微电子工艺技术发展迅猛，目前已进入 300mm/90nm 生产阶段，而且新技术还将不断出现，为此急需一本有关工艺技术及其相关参数检测的微电子技术专业教材，以满足高等院校、科研院所的人才培养及微电子企业技术人员的水平提高的要求。

在河北工业大学微电子技术材料研究所刘玉岭教授的主持下，结合多年来对影响微电子器件电参数的二次晶体缺陷、金属杂质沾污、表面吸附离子及 CMP 系列纳米抛光液、FA/O 多功能活性剂、清洗剂等对 IC 衬底性能与加工、衬底抛光、氧化、扩散、完美器件工艺、钝化、CVD 硅外延、制版、光刻、多层布线等的研究成果和多项发明；同时结合教学经验，并收集了国内外大量文献资料作为参考，经过系统整理，编撰了本书。该书除了介绍微电子器件衬底加工、外延制备、氧化与钝化、杂质扩散及离子注入、光刻、制版、电极制备、封装等关键工艺技术的基本原理、技术及其发展趋势外，还对微电子的某些前沿技术，如多层布线 CMP、纳米粒子与微量金属离子去除、光刻新技术及微机械系统、键合理论与技术等作了专门阐述。同时还对相关参数测试设备、理论与技术也进行了较系统的讲述。因此，本书对于从事微电子科学研究的科研院所与产业界技术工程人员、对从事半导体微电子学专业和相关信息电子科学与技术的专业教师、本科生与研究生都是一本很有价值的参考书。

中国工程院院士



# 前 言

信息产业是国民经济的先导产业，微电子技术是信息产业的核心。微电子技术的迅猛发展，现在已进入了巨大规模集成电路（GLSI）时代，即单个芯片可集成数十亿个元器件的集成规模，它使人类进入了高度信息化时代。

IC 工艺技术的不断进展，实现了 IC 特征尺寸越来越小（ $0.09\mu\text{m}$ ）、速度越来越快、电路规模越来越大、功能越来越强、衬底尺寸越来越大（ $300\text{mm}$ ），形成了 IC 小型化、高速、低成本、高可靠、高效率的生产特点。

微电子技术是一个知识密集、资金密集、人才密集的技术领域。微电子工艺技术竞争涉及到国防安全和经济安全。发达国家都以数百亿元资金投入，研发有自己知识产权的微电子工艺技术。同样我国也正在集中人力和财力研发有自己知识产权的亚微米与纳米的微电子工艺技术。为了适应半导体分立器件西移（从东南亚向中国大陆）和 IC 制造东移（由西方发达国家移向中国大陆）的新形势及我国微电子技术迅速发展对高层次微电子人才培养的急需。刘玉岭教授和他的博士、硕士研究生组成了编写组，承担起新教材的编写工作。

近年来与微电子技术相关的文献、资料较多，技术领域越来越宽；但有关微电子系统技术基础著作很少，这就使得许多有心钻研此领域的大专院校师生、工程技术人员，苦于没有一本系统的专业书籍可供教学、科研、产业化中参考。

刘玉岭教授从 20 世纪 70 年代至今一直坚持 IC 制备工艺技术及原理的研发工作。30 多年来，在 IC 衬底性能与加工、衬底抛光、氧化、扩散、完美器件工艺、钝化、CVD 硅外延、制版、光刻、清洗、多层布线 CMP 技术与抛光液、测试等方面取得了多项发明成果，获得国家发明奖 5 项，省市部级发明与进步奖 19 项，发表相关技术论文一百多篇。编写组以此为基础，并收集了国内外大量文献资料及著名学者（如孙以材、谢希文、林明献、张俊彦、毕克允等）的著作作为参考，经过系统整理，编撰了本书，以满足高等院校、有关科研单位和企业工程技术人员的急需。

本书内容主要包括衬底材料、IC 制备、性能测试，均以技术基础为主。各章节在技术上既有独立性，又具有和其他章节的关联性。在编排顺序上基本以 IC 制备顺序为主线，并且以基础技术原理为重点，介绍了新技术发展趋势与展望。其主要内容如下。

在绪论中介绍了微电子技术在国民经济中的地位与重大作用，微电子技术发展过程，微电子技术扩展的新领域，微电子技术发展趋势。

第 1 章中介绍了集成电路主要基础材料硅单晶的物理性质，影响器件性能、成品率的原始晶体缺陷及二次缺陷的产生和控制。

第 2 章介绍了超大规模集成电路硅衬底成型技术，硅衬底研磨和清洗技术与原理，硅衬底片抛光技术与原理。

第 3 章主要介绍了硅气相外延设备、生长动力、基本化学反应、自掺效应及控制、外延层缺陷及控制、CVD 外延工艺优化、补偿技术原理、外延层的测试设备与方法。

第 4 章介绍了键合技术基本原理、基本方法与原理，键合片的表征测试技术与原理，键合技术的应用。

第 5 章重点介绍了微机械加工技术，分述了各向异性腐蚀、各向同性腐蚀、阳极腐蚀、

电钝化腐蚀、干法腐蚀、表面微机械加工技术、制版-电铸-注塑 (LIGA) 技术与深层刻蚀-深层微电铸-微复制 (DEM) 技术。

第 6 章集中介绍了 IC 制备中的氧化及钝化技术工程, 包括二氧化硅结构、性质及制备原理,  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面性能, 二氧化硅中的杂质及杂质在二氧化硅中扩散, 二氧化硅膜的钝化, 二氧化硅膜的检测。

第 7 章重点介绍了 IC 制备中掺杂杂质扩散, 包括扩散原理与模型、离子注入技术及原理、常用元素的扩散工艺技术原理、扩散参数的测量。

第 8 章主要介绍了 IC 制备中的制版技术与原理, 包括超微粒干版制备技术与原理、铬版制备技术与原理、氧化铁制版技术与原理、光刻制版技术的进展与展望。

第 9 章集中介绍了 IC 制备中的图形转移技术及原理, 包括光刻性能及光刻原理、解析度与焦距深度、光刻对准及曝光设备、工艺参数及检查、变形照明及移像掩膜技术、图形转移及计算机模拟、邻近效应修正技术、电子束光刻及 X 射线光刻技术。

第 10 章介绍了 IC 制备中的刻蚀技术, 包括湿法刻蚀技术及原理、干法刻蚀技术及原理和刻蚀技术新进展。

第 11 章介绍了 IC 制备中多层布线与全面平坦化技术及原理, 包括化学机械全局平面化 (CMP) 的发展与技术要求、CMP 基本原理及技术、ULSI 多层铜布线 CMP 技术与原理、CMP 技术展望。

第 12 章集中介绍了 IC 制备中的封装技术与原理, 包括陶瓷封装、塑料封装、封装的化学原理与新型封装技术。

第 13 章集中介绍了 IC 制备中的金属处理技术与原理, 包括金属化学气相淀积技术与原理、金属物理气相淀积技术与原理、金属中的电迁移、表面动力学过程和电极制备。

第 14 章主要介绍了检测技术, 包括硅单晶缺陷的测量、导电类型的测量、电阻率的测量与单晶晶向测试、氧浓度的测量、非平衡少数载流子寿命的测量、微量金属离子的测量。

本书的服务对象, 着重于高等院校学生、研究生及从事微电子技术相关领域的工程技术人员。因本书涉及领域较宽, 各单位可根据需要选取不同章节进行教学。本书既阐述了基本理论, 又介绍了技术方法及应用。如微电子技术专业人员需要更详细的资料, 可参考每章后面所附的参考文献。

本书在编写期间刘玉岭教授的博士生张西惠、李薇薇、王娟、牛新环、周建伟, 硕士生邢哲、邢进、李志国、苗勇、王超、郝子宇、高鹏、孙守梅、张建新、赵之雯、袁育杰、张远祥等分别在各章节中作了大量的工作。中国工程院院士许居衍给予了热情指导与支持, 微电子所同仁也给予了大量支持与帮助, 要感谢的人实属太多, 难以一一列出他们的姓名, 谨在这里对提供支持与帮助的同事与友人一并表示衷心感谢!

因为本书涉及知识面广, 时间短促, 水平有限, 难免有错误, 不足之处恳请广大读者批评指正。

河北工业大学微电子所

《微电子技术工程——材料、工艺与测试》编写组

# 目 录

<b>第 0 章 绪论</b> .....	(1)
0.1 微电子技术是社会信息化的基础 .....	(1)
0.2 集成电路技术新发展 .....	(2)
0.2.1 集成电路的分类 .....	(2)
0.2.2 集成电路的发展趋势及其特点 .....	(3)
0.2.3 微电子技术制造发展趋势 .....	(4)
0.3 微电子技术新领域 .....	(7)
0.3.1 微电子机械系统 .....	(7)
0.3.2 纳米电子技术 .....	(8)
0.3.3 超导微电子技术 .....	(9)
0.3.4 有机微电子技术 .....	(10)
参考文献 .....	(11)
<b>第 1 章 硅单晶材料的基本性质</b> .....	(13)
1.1 硅半导体材料的物理性质 .....	(13)
1.1.1 半导体的电子能带结构 .....	(13)
1.1.2 半导体 .....	(15)
1.1.3 硅单晶的光学性质 .....	(20)
1.1.4 硅单晶的热性质 .....	(23)
1.1.5 硅的机械性质 .....	(31)
1.2 硅衬底材料的晶体缺陷 .....	(34)
1.2.1 硅单晶的点缺陷 .....	(35)
1.2.2 硅单晶中的线缺陷(位错) .....	(40)
1.2.3 硅单晶中的面缺陷(界面) .....	(44)
参考文献 .....	(49)
<b>第 2 章 超大规模集成电路硅衬底加工技术工程</b> .....	(53)
2.1 超大规模集成电路衬底硅单晶的加工成型技术 .....	(53)
2.1.1 单晶锭外形整理 .....	(53)
2.1.2 切片 .....	(54)
2.1.3 倒角 .....	(56)
2.1.4 磨片 .....	(57)
2.1.5 硅单晶研磨片的清洗 .....	(64)
2.1.6 腐蚀 .....	(67)
2.1.7 展望 .....	(69)
2.2 超大规模集成电路硅衬底的抛光技术 .....	(70)
2.2.1 硅衬底的边缘抛光 .....	(70)
2.2.2 IC 中硅衬底表面抛光 .....	(71)

2.2.3	抛光液 .....	(77)
2.2.4	抛光硅片表面质量与抛光工艺技术 .....	(79)
2.2.5	展望 .....	(81)
	参考文献 .....	(81)
<b>第3章</b>	<b>硅气相外延技术工程 .....</b>	<b>(83)</b>
3.1	硅气相外延在 IC 技术发展中的作用 .....	(83)
3.2	硅气相外延设备与基本化学反应 .....	(87)
3.2.1	硅气相外延设备 .....	(87)
3.2.2	硅气相外延的基本化学反应 .....	(89)
3.3	外延生长动力学及外延层中浓度的分布 .....	(90)
3.3.1	外延生长速率 $v$ 与反应剂浓度 $Y$ 的关系 .....	(91)
3.3.2	两种极限生长情况及反应温度 $T$ 对 $v$ 的影响 .....	(92)
3.3.3	气体流速与硅片位置对生长速率的影响 .....	(93)
3.3.4	外延层中杂质浓度分布 .....	(94)
3.4	硅烷热分解法外延与选择外延 .....	(99)
3.4.1	硅烷热分解法外延 .....	(99)
3.4.2	选择外延 .....	(100)
3.5	外延层的缺陷 .....	(100)
3.5.1	外延层缺陷种类及其成因分析 .....	(101)
3.5.2	外延层缺陷检验方法 .....	(105)
3.6	硅 CVD 外延自掺杂效应的分析研究 .....	(105)
3.6.1	概述 .....	(105)
3.6.2	理论分析 .....	(106)
3.7	硅外延片滑移线产生因素的实验研究 .....	(108)
3.7.1	理论分析 .....	(109)
3.7.2	实验与结果 .....	(109)
3.7.3	实验结果的讨论 .....	(112)
3.8	硅外延生长的工艺优化——反向补偿法 .....	(112)
3.8.1	概述 .....	(112)
3.8.2	理论分析 .....	(113)
3.8.3	实验和结果 .....	(114)
3.8.4	结论 .....	(115)
3.9	硅外延层的快速调温 .....	(115)
3.9.1	硅外延层的快速调温化学气相沉积法 .....	(115)
3.9.2	硅外延工艺中降低外延温度的现状及要求 .....	(116)
3.10	外延片夹层的测试 .....	(117)
3.10.1	外延片中的夹层 .....	(117)
3.10.2	夹层的检测 .....	(117)
3.11	三探针电压击穿法测外延层电阻率 .....	(118)
3.11.1	基本原理 .....	(118)



3.11.2	测量线路和装置 .....	(121)
3.11.3	测试步骤 .....	(121)
3.11.4	测试注意事项 .....	(122)
3.11.5	测量精度 .....	(122)
3.12	电容-电压法测硅外延层纵向杂质分布 .....	(123)
3.12.1	测试基本原理 .....	(123)
3.12.2	用高频 Q 表的测试方法和测试电路 .....	(126)
3.12.3	测试步骤 .....	(127)
3.12.4	测试数据的处理与杂质浓度的测定 .....	(127)
3.12.5	测准条件与注意事项 .....	(128)
3.12.6	利用 C-V 测试仪和汞探针测外延片杂质浓度简介 .....	(129)
3.13	二次谐波法测外延层杂质浓度 .....	(130)
3.13.1	基本原理 .....	(130)
3.13.2	测试电路及其工作原理 .....	(132)
3.13.3	仪器的标定 .....	(133)
3.13.4	测试注意事项 .....	(135)
3.14	外延层厚度的测量 .....	(136)
3.14.1	层错法 .....	(137)
3.14.2	红外干涉法 .....	(137)
3.15	用 RHEED 方法分析半导体薄膜特性 .....	(139)
3.15.1	概述 .....	(139)
3.15.2	实验 .....	(140)
3.15.3	实验结果与讨论 .....	(143)
3.15.4	小结 .....	(143)
3.16	高精度 X 射线双晶衍射仪的原理及其应用 .....	(143)
3.16.1	概述 .....	(143)
3.16.2	工作原理 .....	(144)
3.16.3	X 射线双晶衍射的优缺点 .....	(145)
3.17	外延片的其他测试方法 .....	(145)
3.18	小结与展望 .....	(146)
	参考文献 .....	(146)
<b>第 4 章</b>	<b>键合技术工程 .....</b>	<b>(149)</b>
4.1	键合的基本原理及基本要求 .....	(149)
4.2	几种主要的键合方法 .....	(150)
4.3	键合晶片的表征测试方法 .....	(151)
4.3.1	键合前晶片表面的表征 .....	(151)
4.3.2	键合界面特性的表征测试 .....	(151)
4.4	键合技术在微电子中的应用 .....	(152)
4.4.1	概述 .....	(152)
4.4.2	用氧等离子体激活处理的低温硅片直接键合技术 .....	(153)

4.4.3	ZnO 陶瓷键合 Cu 电极技术	(157)
4.4.4	AlN 薄膜室温直接键合技术	(161)
4.4.5	硅/锗/硅键合技术	(164)
4.4.6	热键合技术及其在激光方面的应用	(168)
4.4.7	微传感器制造中的硅-玻璃静电键合技术	(172)
4.4.8	微机械加工中的图形硅片键合技术	(176)
	参考文献	(182)
<b>第 5 章</b>	<b>微机械加工技术工程</b>	<b>(185)</b>
5.1	各向异性腐蚀	(188)
5.1.1	腐蚀系统简介	(188)
5.1.2	腐蚀速率与晶体取向的关系	(189)
5.1.3	腐蚀速率与腐蚀液成分的关系	(194)
5.1.4	腐蚀速率与硅掺杂浓度的关系	(196)
5.1.5	各向异性自停止腐蚀技术	(198)
5.1.6	各向异性腐蚀的机制	(201)
5.1.7	各向异性腐蚀剂腐蚀出的微结构	(207)
5.1.8	各向异性腐蚀的应用	(213)
5.2	各向同性腐蚀	(217)
5.2.1	HF+HNO <sub>3</sub> 腐蚀系统的腐蚀原理	(217)
5.2.2	影响半导体单晶电化学腐蚀速率的各种因素	(218)
5.2.3	腐蚀液成分比对硅表面形貌及角、棱的影响	(220)
5.2.4	各向同性自停止腐蚀	(223)
5.3	阳极腐蚀	(224)
5.3.1	阳极腐蚀原理	(224)
5.3.2	影响阳极腐蚀的因素	(226)
5.3.3	采用阳极腐蚀的自停止腐蚀方法	(228)
5.4	电钝化腐蚀	(229)
5.4.1	电钝化腐蚀原理	(229)
5.4.2	制备 n 型硅膜的 pn 结自停止腐蚀方法	(235)
5.4.3	制备 p 型硅膜的脉冲电压方法	(239)
5.5	表面微机械加工技术	(241)
5.5.1	表面微机械加工的基本概念	(241)
5.5.2	表面微机械加工技术的应用	(246)
5.6	LIGA 与准 LIGA 技术工艺	(249)
5.6.1	LIGA 技术	(249)
5.6.2	LIGA 技术的推广	(250)
	参考文献	(255)
<b>第 6 章</b>	<b>微电子器件氧化及钝化技术工程</b>	<b>(259)</b>
6.1	二氧化硅的结构	(260)
6.1.1	二氧化硅网络	(260)

6.1.2	非桥键氧和氧空位 .....	(261)
6.2	二氧化硅的性质 .....	(261)
6.2.1	二氧化硅的物理性质 .....	(261)
6.2.2	二氧化硅的化学性质 .....	(263)
6.3	二氧化硅膜的制备及其原理 .....	(264)
6.3.1	热生长氧化法 .....	(265)
6.3.2	热氧化生长动力学 .....	(268)
6.3.3	热氧化的规律 .....	(271)
6.3.4	热分解沉积氧化膜法 .....	(277)
6.3.5	其他氧化方法 .....	(279)
6.3.6	生产中常见的几种质量问题 .....	(280)
6.3.7	硅-二氧化硅界面缺陷 .....	(282)
6.4	二氧化硅-硅界面的物理性质 .....	(284)
6.4.1	热氧化时杂质在界面上的再分布 .....	(284)
6.4.2	反型层现象 .....	(284)
6.5	二氧化硅玻璃中的杂质 .....	(285)
6.5.1	SiO <sub>2</sub> 网络中的杂质 .....	(285)
6.5.2	Revesz 模型和结晶化 .....	(287)
6.5.3	HCl 氧化的作用 .....	(288)
6.5.4	二氧化硅中 Na <sup>+</sup> 离子的影响 .....	(288)
6.6	杂质在二氧化硅中的扩散 .....	(289)
6.6.1	杂质在 SiO <sub>2</sub> 层中的扩散系数 .....	(289)
6.6.2	二氧化硅掩蔽杂质扩散的可能性 .....	(291)
6.6.3	掩蔽杂质扩散所需要的最小的 SiO <sub>2</sub> 层厚度 .....	(292)
6.7	二氧化硅膜质量的检验 .....	(293)
6.7.1	氧化层膜厚的测定 .....	(293)
6.7.2	氧化膜缺陷的检测 .....	(297)
6.8	表面钝化 .....	(297)
6.8.1	SiO <sub>2</sub> -Si 系统中的电荷 .....	(298)
6.8.2	IC 制程中的氮化硅钝化膜 .....	(312)
6.8.3	三氧化二铝的钝化技术 .....	(314)
6.8.4	低温钝化技术及半绝缘多晶硅钝化膜 .....	(319)
	参考文献 .....	(321)
<b>第 7 章</b>	<b>扩散与离子注入 .....</b>	<b>(323)</b>
7.1	扩散原理与模型 .....	(323)
7.1.1	固体中的扩散模型 .....	(323)
7.1.2	扩散机制 .....	(324)
7.2	常用元素的扩散技术原理 .....	(329)
7.2.1	电场加速的扩散 .....	(329)
7.2.2	常用的砷、硼、磷扩散 .....	(330)

7.2.3	扩散设备与扩散源 .....	(332)
7.3	扩散的测量技术 .....	(334)
7.3.1	结深和薄层电阻 .....	(334)
7.3.2	剖面分布测量 .....	(335)
7.4	离子注入技术与原理 .....	(338)
7.4.1	原理 .....	(340)
7.4.2	离子注入设备 .....	(342)
7.4.3	工艺技术 .....	(348)
7.4.4	应用 .....	(350)
7.5	小结与展望 .....	(351)
	参考文献 .....	(352)
<b>第 8 章</b>	<b>IC 制备中制版技术及原理 .....</b>	<b>(355)</b>
8.1	制版概述 .....	(355)
8.1.1	制版意义 .....	(355)
8.1.2	制版工艺流程简介 .....	(355)
8.1.3	掩膜版的基本构造及质量要求 .....	(357)
8.2	超微粒干版制备技术及原理 .....	(358)
8.2.1	制版技术的光学原理 .....	(358)
8.2.2	超微粒干版的显像原理 .....	(361)
8.3	铬版制备技术 .....	(365)
8.3.1	铬版的特点 .....	(365)
8.3.2	铬版的制备 .....	(365)
8.3.3	用铬版复印光刻版 .....	(367)
8.3.4	铬膜质量的几点讨论 .....	(368)
8.4	氧化铁版制备技术 .....	(369)
8.4.1	化学气相沉积 (CVD) 法制备氧化铁版原理 .....	(370)
8.4.2	涂敷法制氧化铁版原理 .....	(372)
8.5	其他光刻制版技术 .....	(376)
8.5.1	传统光学光刻及制版技术面临的挑战 .....	(376)
8.5.2	后光学光刻及制版技术的发展 .....	(378)
	参考文献 .....	(383)
<b>第 9 章</b>	<b>IC 制备中的图形转移技术及原理 .....</b>	<b>(385)</b>
9.1	光刻胶的光敏原理 .....	(386)
9.1.1	光刻胶化学性质与作用 .....	(386)
9.1.2	光刻胶涂布显影工艺 .....	(387)
9.1.3	光刻胶涂布与显影设备 .....	(390)
9.2	分辨率与焦距深度 .....	(390)
9.3	光刻对准曝光设备 .....	(391)
9.3.1	接触式对准机 .....	(391)
9.3.2	间隙式对准机 .....	(392)

9.3.3	投射式对准机 .....	(392)
9.4	工艺参数条件设定 .....	(393)
9.4.1	选择光刻胶 .....	(393)
9.4.2	光刻胶厚度曲线 (Swing Curve) .....	(393)
9.4.3	最佳焦距与曝光量 .....	(394)
9.4.4	工艺空间 (Process Window) .....	(394)
9.5	显影后的检查 .....	(395)
9.6	线宽控制及对准检查 .....	(396)
9.6.1	线宽控制 .....	(396)
9.6.2	对准检查 .....	(398)
9.7	变形照明及移相掩膜技术 .....	(399)
9.7.1	变形照明 (偏轴光源) .....	(399)
9.7.2	移相掩膜技术 .....	(401)
9.8	图形转移工艺计算机模拟 .....	(403)
9.9	邻近效应修正技术 .....	(404)
9.10	电子束光刻、X 射线光刻技术 .....	(405)
9.10.1	电子束光刻技术 .....	(405)
9.10.2	X 射线光刻技术 .....	(408)
	参考文献 .....	(410)
<b>第 10 章</b>	<b>IC 制备中的刻蚀技术 .....</b>	<b>(411)</b>
10.1	湿法刻蚀技术及原理 .....	(411)
10.1.1	二氧化硅的湿法刻蚀 .....	(412)
10.1.2	硅的刻蚀 .....	(413)
10.1.3	氮化硅刻蚀 .....	(413)
10.1.4	铝的刻蚀 .....	(413)
10.1.5	铬的刻蚀 .....	(414)
10.2	干法刻蚀技术及原理 .....	(415)
10.2.1	等离子体概述 .....	(415)
10.2.2	干法刻蚀用设备 .....	(419)
10.2.3	半导体制备中常用材料的干法刻蚀介绍 .....	(422)
10.2.4	终点检测 (End Point Detection) .....	(428)
10.3	刻蚀技术新进展 .....	(430)
10.3.1	四甲基氢氧化铵湿法刻蚀 .....	(430)
10.3.2	软刻蚀 .....	(431)
10.3.3	约束刻蚀剂层技术 .....	(434)
	参考文献 .....	(435)
<b>第 11 章</b>	<b>IC 制备中多层布线与全面平坦化技术与原理 .....</b>	<b>(437)</b>
11.1	化学机械抛光的发展及技术要求 .....	(438)
11.1.1	从真空管到 IC, 再到大型集成电路的历程 .....	(438)
11.1.2	化学机械抛光在大型集成电路制程上的必要性 .....	(438)

11.1.3	平坦化方法与化学机械抛光 .....	(439)
11.1.4	CMP 的应用工程及要求条件 .....	(440)
11.1.5	总结 .....	(444)
11.2	超精密 CMP 机理 .....	(444)
11.2.1	概述 .....	(444)
11.2.2	CMP 的要求事项 .....	(445)
11.2.3	精密研磨法与研磨机制简介 .....	(445)
11.2.4	CMP 的各项要素 .....	(449)
11.3	CMP 的要素技术 .....	(450)
11.3.1	CMP 装置的技术 .....	(450)
11.3.2	影响 CMP 质量与效率的研磨液 .....	(461)
11.3.3	决定平坦化均匀度的研磨垫 .....	(468)
11.3.4	CMP 后的清洗技术 .....	(476)
11.3.5	CMP 中测定与工程种类的关系 .....	(483)
11.4	铜布线 .....	(484)
11.4.1	铜布线工艺 .....	(485)
11.4.2	国际上的两种抛光液 .....	(487)
11.4.3	一种新型碱性抛光液 .....	(489)
11.4.4	有机碱的选择 .....	(491)
11.4.5	多层布线铜 CMP 动力学 .....	(493)
11.4.6	小结 .....	(494)
11.5	CMP 的发展 .....	(495)
11.5.1	CMP 技术的登场 .....	(495)
11.5.2	CMP 技术的困难 .....	(495)
11.5.3	CMP 的技术改良 .....	(496)
11.5.4	固定磨料的 CMP .....	(496)
11.5.5	结束语 .....	(497)
	参考文献 .....	(497)
<b>第 12 章</b>	<b>IC 制备中的封装技术与原理 .....</b>	<b>(501)</b>
12.1	引言 .....	(501)
12.1.1	微电子封装的发展 .....	(501)
12.1.2	电子封装技术简介 .....	(502)
12.1.3	封装类型 .....	(503)
12.2	陶瓷封装 .....	(505)
12.2.1	陶瓷封装简介 .....	(505)
12.2.2	陶瓷封装材料 .....	(505)
12.2.3	陶瓷封装的制备工艺 .....	(506)
12.2.4	其他陶瓷封装材料及工艺 .....	(508)
12.3	塑料封装 .....	(510)
12.3.1	塑料封装的材料 .....	(510)

12.3.2	塑料封装的制备工艺 .....	(512)
12.3.3	塑料封装的可靠性试验 .....	(513)
12.4	封装的化学原理 .....	(514)
12.4.1	装架工艺化学原理 .....	(514)
12.4.2	陶瓷金属化 .....	(516)
12.4.3	塑料封装的化学原理 .....	(517)
12.5	新型封装技术 .....	(524)
12.5.1	倒装焊技术的发展历程及前景 .....	(524)
12.5.2	系统级封装 .....	(526)
12.5.3	下一代微型器件组装技术——电场贴装 .....	(527)
12.5.4	技术新趋向 .....	(529)
	参考文献 .....	(530)
<b>第 13 章</b>	<b>IC 制备中的金属处理技术与原理 .....</b>	<b>(533)</b>
13.1	金属化学气相沉积技术与原理 .....	(533)
13.1.1	TiN 金属化学气相沉积阻挡层 .....	(533)
13.1.2	钨化学气相沉积 .....	(541)
13.1.3	铜化学气相沉积 .....	(543)
13.1.4	铝化学气相沉积 .....	(549)
13.2	金属物理气相沉积技术与原理 .....	(550)
13.2.1	改进阶梯覆盖率 .....	(550)
13.2.2	铝插塞及平坦化过程 .....	(552)
13.2.3	未来 PVD 的发展趋势 .....	(553)
13.3	金属中的电迁移 .....	(554)
13.3.1	电迁移的驱动力 .....	(555)
13.3.2	有效电荷数的计算 .....	(557)
13.3.3	电迁移的测量 .....	(558)
13.3.4	金属超细线条中的电迁移 .....	(559)
13.4	表面动力学过程 .....	(560)
13.4.1	表面原子 .....	(560)
13.4.2	原子团上的气相压力 .....	(561)
13.4.3	原子团的“熟化”生长机理 .....	(563)
13.4.4	原子团的聚合生长机理 .....	(566)
13.4.5	表面台阶成核模型 .....	(567)
13.5	电极制备 .....	(570)
13.5.1	欧姆接触 .....	(570)
13.5.2	蒸发与溅射 .....	(573)
13.5.3	多层电极 .....	(582)
13.5.4	键合 .....	(585)
13.6	小结 .....	(587)
	参考文献 .....	(587)

<b>第 14 章 硅单晶性质的检测设备与技术</b> .....	(591)
14.1 硅单晶缺陷的检测 .....	(591)
14.1.1 选择性腐蚀的技术 .....	(591)
14.1.2 电化学腐蚀条件及其反应 .....	(592)
14.1.3 影响半导体单晶电化学腐蚀速率的各种因素 .....	(593)
14.1.4 电化学腐蚀在半导体技术中的应用 .....	(596)
14.1.5 光学显微镜的应用 .....	(597)
14.2 导电类型的测量 .....	(597)
14.2.1 导电类型的测量方法 .....	(598)
14.2.2 测量条件的分析 .....	(599)
14.3 电阻率的测量 .....	(600)
14.3.1 两探针法 .....	(601)
14.3.2 四探针法 .....	(601)
14.3.3 涡电流法 .....	(605)
14.3.4 扩展电阻探针法 .....	(606)
14.3.5 C-V 法 .....	(607)
14.4 单晶晶向检测 .....	(610)
14.4.1 晶向与半导体工艺的关系 .....	(610)
14.4.2 X 射线衍射法 (X-ray Diffraction Method) .....	(612)
14.4.3 光点定向法 .....	(614)
14.5 氧浓度的测量 .....	(616)
14.5.1 测量原理 .....	(616)
14.5.2 红外光谱仪种类 .....	(617)
14.5.3 测量工艺和方法 .....	(619)
14.5.4 测量条件和误差分析 .....	(619)
14.6 非平衡少数载流子寿命的测量 .....	(621)
14.6.1 概述 .....	(621)
14.6.2 少子寿命的测量方法 .....	(622)
14.7 超微量分析技术 .....	(626)
14.7.1 感应耦合等离子质谱仪 .....	(627)
14.7.2 石墨炉原子吸收光谱仪 .....	(628)
14.7.3 全反射 X 射线荧光光谱仪 .....	(628)
14.7.4 X 射线电子能谱仪 .....	(628)
14.7.5 X 射线表面状态测量仪 .....	(630)
14.7.6 扫描探针显微镜——原子力显微镜 .....	(630)
14.7.7 俄歇电子能谱仪 .....	(632)
14.7.8 扫描电子显微镜 .....	(632)
14.7.9 透射电子显微镜 .....	(634)
参考文献 .....	(637)
<b>附录 A 硅单晶片材料及半导体工业常用名词的解释</b> .....	(641)



附录 B	硅在 300K 的物理常数 .....	(647)
附录 C	物理基本常数 .....	(648)
附录 D	长度单位转换表 .....	(648)
附录 E	压力单位转换表 .....	(649)
附录 F	能量单位转换表 .....	(649)
附录 G	力单位转换表 .....	(649)