

电子工业生产技术手册

(7.)

半导体与集成电路卷

《电子工业生产技术手册》编委会 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以手册的形式介绍了半导体器件及集成电路的制作工艺技术。按工艺成章,包括氧化、扩散等前工序,键合、封装等后工序以及照相制版、CAD、芯片分析等工艺共20章。

本书综合了国内的实践经验,吸取并参考了美、日等同类手册的精华编写而成。强调实用性、科学性及先进性。本书是一本从事半导体工艺制作的中、高级人员的实用手册,亦可作大专院校师生的教学参考书。

电子工业生产技术手册

半导体与集成电路卷

《电子工业生产技术手册》编委会 编

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/16 印张83¹/₂ 插页2 1953千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷 印数: 0,001—3,000册

ISBN 7-118-00701-3/TM·123 定价: 61.50元

科技新书目248-031

出版说明

《电子工业生产技术手册》(以下简称《手册》)是由电子工业部和中国电子学会联合组织编写的一部综合性工具书。全书共约一千五百万字,分成五卷:

- 一、电子元件卷;
- 二、电真空器件卷;
- 三、半导体与集成电路卷;
- 四、通用工艺卷;
- 五、生产质量技术保证卷。

《手册》的读者对象:主要是具有中专以上水平的电子工业工程技术人员、高级技术工人及生产技术管理干部,也可作为高等院校和中等专业学校电子类专业的教学参考书。

《手册》在总结我国电子工业三十多年来生产技术实践经验的基础上,适当参阅了国外有关技术资料中对我国适用的电子生产技术编写而成的。对于一些即将淘汰与不宜继续采用的现行生产技术,一般不予编入;对那些国内外新近出现的,虽尚未经实践反复验证,但具有方向性的新技术,则在有关篇的“今后展望”中予以介绍。

《手册》力求突出电子工业生产技术的特点,原则上不编入与其他手册相重复的内容。但是,鉴于现代电子工业属高技术密集型工业,涉及的技术门类多,除与电子、机械、化工、冶金等基础科学有密切关系外,还涉及许多边缘科学。为便于查阅,也适当地收集了一些散见于其它手册中的共性资料。

在《手册》的编写过程中,结合我国电子工业的实际情况,认真贯彻了1984年国务院颁发的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》和《全面推行我国法定计量单位的意见》。

由于电子产品发展很快,更新换代频繁,各种生产技术进步迅速,第一次编写生产技术性的手册缺少经验,初版会有许多不足之处。为了使《手册》在我国电子工业的发展中能够不断地起到促进和指导作用,希望读者在使用《手册》过程中,如发现谬误或对《手册》的内容有新的建议,请及时与《手册》总编辑部(山西省太原市第115信箱)联系。今后将根据各篇的技术发展情况,及时修订或出版续篇。在适当时间,将全部重新编写出版。

《手册》的编写和出版工作,得到了中央各有关部、委、各省(市)电子工业领导部门及有关厂、所、院、校的大力支持。参加编写、审校和讨论的各方面的专家、教授、科技人员近千人。谨向这些单位与有关人员致以谢意。

《手册》总编辑委员会

一九八六年八月二十五日

总 编 辑 委 员 会

主 任 委 员

孙俊人

副主任委员

(按姓氏笔划为序)

边 拱 陆崇真 周文盛 童志鹏 谢高觉 蒋葆增

委 员

(按姓氏笔划为序)

厉声树 刘联宝 陈力为 陈克恭 张立鼎
杨臣华 沈金宝 武尔楨 周生珣 林金庭
郭文昭 郭桂庭 袁行健 戴昌鼎

总 编 辑 部

主 任

孙凤阁

成 员

(按姓氏笔划为序)

李桂馨 赵全喜 虞苏玮

前 言

《半导体与集成电路》是电子工业生产技术手册的第三卷，这一卷又分为《半导体材料》、《硅器件与集成电路》、《化合物半导体器件》三篇(第6~8分册)。

半导体器件与集成电路在现代电子工业中占有极其重要的地位。一个国家的电子工业是否先进，在一定意义上取决于其半导体与集成电路工业是否先进，发达国家竞相建设“硅谷”的原因就在于此。

半导体器件与集成电路工业依赖于材料制备、先进的设计、现代化的装备和精细的加工工艺。进入八十年代初，集成电路已向超大规模、集成系统、多层集成和砷化镓集成电路发展；硅集成电路生产工艺的特点是晶片尺寸大(150~200mm)、光刻线条细(1 μ m左右)、采用干法工艺和计算机辅助生产。先进的生产技术使得集成电路价格越来越低，整机性能越来越高，电子产品更新换代越来越快。所以生产工艺技术是进行半导体和集成电路大生产的基础，世界性的攀比竞争的焦点也在于此。

《半导体与集成电路》这一卷汇集了通用生产技术和工艺数据，其目的是促进我国半导体和集成电路工艺技术的提高。由于富集了大量常用的数据和资料，我们希望从事半导体生产、教学和研究的工程师、科学家、教师、管理干部和具有中专以上文化水平的人员能从中得到裨益。

《半导体材料》篇为本卷的第一篇，共分12章。重点是硅和砷化镓半导体材料的制备工艺，参数测试，完整性分析以及质量控制等。同时对常用Ⅲ-V族和Ⅱ-VI族半导体也进行了一定的论述。随着化合物半导体器件的发展，砷化镓等化合物材料的制备工艺也将有很大的发展。

《硅器件与集成电路》为第二篇，共20章。重点介绍硅集成电路工艺，特别是MOS和双极型集成电路的通用工艺，包括计算机辅助制版、氧化、扩散、CVD、离子注入、光刻、隔离技术、芯片分析、封装和可靠性等等。这些工艺技术对分立器件同样是适用的。虽然硅工艺已很成熟，但由于硅集成电路正向微米以下工艺和多层集成发展，就要求不断地采用新工艺。

《化合物半导体器件》为第三篇，共分16章。本篇以GaAs半导体器件工艺为主，着重汇集了微波和光电器件方面的工艺方法和有关数据，包括Ⅲ-V族材料外延、亚微米光刻、离子注入、介质膜生长、有代表性的微波器件和光电器件的典型工艺，以及可靠性等。由于Ⅲ-V族半导体器件，尤其是GaAs集成电路正处于重要发展阶段，所以这方面的资料和数据介绍得比较多。

参加本卷编审的研究所、高等学校和工厂近30家，共180多名科学家和工程师。其中无锡微电子研究中心，四川固体电路研究所，天津电子材料研究所，河北半导体研究所，南京固体器件研究所(现南京电子器件研究所)，中国科学院上海冶金研究所，永川光电技术研究所，骊山微电子公司，辽宁集成电路研究所，北京东光电工厂，北京电子管厂，江南无线电器材厂，南京半导体器件总厂，上海无线电五厂和十九厂，北京半导体器件研

究所, 北京无线电二厂, 清华大学, 北京大学, 复旦大学, 天津大学, 西安交通大学, 南京工学院, 成都电讯工程学院等单位承担了主要的编写和审校工作, 中国电子器件工业总公司和许多单位领导给予了重要支持, 本卷编委会致以衷心的感谢!

半导体和集成电路的生产工艺的发展日新月异, 由于编写水平所限,《手册》中错误和不足之处, 欢迎读者给予批评指正。

半导体与集成电路卷编辑委员会

卷编辑委员会

主任委员

武尔桢 林金庭

副主任委员

(按姓氏笔划为序)

邓先灿 车运洪 许居衍 宋秉治 俞忠钰

委 员

(按姓氏笔划为序)

王宗绪	庄同曾	许 康	刘清太	陈中佛	吴远庆
李克诚	李集生	汪炳南	郑崇伟	张仁君	郭同生
郭维廉	黄汉祥	常振华	蒋伏君		

卷 编 辑 部

主 任

王 英

副 主 任

徐稼迟

成 员

(按姓氏笔划为序)

王宗绪 宋马成 陈中佛 沈能珏

学术秘书

徐稼迟 王 英

责任编辑

王晓光

目 录

第 2 篇

第 1 章 绪论 3	2.6 MOS 集成电路制作流程 与工艺 55
1.1 硅器件及其工艺发展简史 3	2.6.1 P 沟铝栅 MOS 工艺 55
1.2 硅器件的分类 7	2.6.2 n 沟硅栅 E/D MOS 工艺 57
1.2.1 分立器件的分类 7	2.6.3 短沟 n 沟硅栅 MOS 工艺 61
1.2.2 集成电路的分类 8	2.6.4 CMOS 工艺 63
1.3 硅器件工艺的特点及要求 8	2.7 其它电路 68
1.3.1 硅器件工艺是技术复杂的工艺 9	第 3 章 硅外延 69
1.3.2 硅器件工艺是高级精密工艺 9	3.1 外延种类及材料要求 69
1.3.3 硅器件工艺是迅速发展的工艺 11	3.1.1 硅外延的种类 69
参考资料 12	3.1.2 器件对硅材料的要求 70
第 2 章 硅集成电路元器件 及集成化工艺 13	3.1.3 外延材料参数的选定 73
2.1 集成电路中的电阻元件 13	3.2 外延与器件的关系 及有关问题 75
2.1.1 扩散电阻元件 14	3.2.1 外延与器件的关系 75
2.1.2 离子注入电阻元件 20	3.2.2 外延层杂质分布 75
2.1.3 多晶硅电阻元件 23	3.2.3 外延层中的外扩散与自掺杂 77
2.1.4 薄膜电阻元件 23	3.2.4 外延后的图形漂移与畸变 81
2.2 集成电路中的电容元件 28	3.2.5 外延层缺陷及其减少方法 84
2.2.1 扩散结电容器 28	3.3 外延设备与硅源 85
2.2.2 MOS 电容器 35	3.3.1 外延设备概述 85
2.2.3 薄膜电容器 36	3.3.2 三种反应室的特点与比较 86
2.3 集成晶体管 39	3.3.3 几种常用硅源的选用和比较 88
2.3.1 集成晶体管的寄生效应 39	3.4 常压外延工艺 90
2.3.2 集成 npn 晶体管 40	3.4.1 外延前工艺准备 90
2.3.3 集成 pnp 晶体管 43	3.4.2 外延工序 91
2.3.4 集成场效应晶体管 45	3.4.3 外延工艺条件选定与生长速率 91
2.4 集成电路中的二极管 47	3.4.4 掺杂外延 96
2.4.1 普通二极管 47	3.4.5 提高外延工艺质量的方法 98
2.4.2 特种二极管 48	3.4.6 外延常见工艺问题及其处理 99
2.5 双极集成电路制作流程 及工艺 49	3.5 低压外延与选择外延 101
2.5.1 双极 TTL 电路制作流程与工艺 49	3.5.1 低压外延 101
2.5.2 肖特基 TTL 电路制作流程 与工艺 53	3.5.2 低压选择外延 103
2.5.3 中电压线性集成电路制作流程 与工艺 54	3.5.3 等离子增强 CVD 外延 106
	3.6 薄层外延 107
	3.7 蓝宝石上硅外延 (SOS) 109

3.7.1 CVD 法 SOS 外延	109	4.5.1 氧化膜厚度检测	187
3.7.2 分子束外延法 SOS 外延	110	4.5.2 氧化膜缺陷检测	194
3.7.3 固相外延法 SOS 外延	110	4.5.3 介电系数和击穿特性测量	196
3.8 分子束硅外延	112	4.5.4 应力测量	198
3.8.1 分子束外延的性质和特点	112	4.6 热生长 SiO_2 -Si 系统的性质与	
3.8.2 分子束外延设备简述	112	测试	199
3.8.3 分子束外延工艺	114	4.6.1 热生长氧化硅系统中的电荷	199
3.9 外延层的测量	119	4.6.2 Si-SiO_2 结构性质的测试分析	201
3.9.1 外延层厚度测量	119	4.6.3 Si-SiO_2 结构性质的几种测量	
3.9.2 外延层电阻率的测量	123	方法	207
3.9.3 外延层少数载流子寿命测量	125	4.6.4 关于 MOS 电容样品的制备	217
3.9.4 杂质分布测量	126	参考资料	218
3.9.5 外延层缺陷的测量	126	第 5 章 扩散	221
参考资料	126	5.1 扩散原理	221
第 4 章 热氧化	128	5.1.1 扩散机构	221
4.1 二氧化硅膜的结构、性质和		5.1.2 杂质在硅中的固溶度	222
用途	128	5.1.3 扩散方程	223
4.1.1 二氧化硅结构	128	5.1.4 扩散系数和扩散的异常性	229
4.1.2 二氧化硅膜的性质	130	5.1.5 扩散层的电学参数与	
4.1.3 二氧化硅膜对杂质的掩蔽	134	结构参数	244
4.1.4 二氧化硅膜在器件中的应用	139	5.2 硅中扩散层和次表面层的平	
4.2 热生长二氧化硅原理	141	均电导率 $\bar{\sigma}$ 与表面浓度 N_s 的	
4.2.1 热氧化动力学	142	关系曲线	246
4.2.2 氧化速率常数与工艺的关系	144	5.3 扩散杂质源及其扩散特性	259
4.2.3 干氧中的薄层氧化动力学	148	5.3.1 杂质源概述	259
4.2.4 掺氯氧化动力学	149	5.3.2 硼扩散源	260
4.2.5 高压氧化的动力学	151	5.3.3 磷扩散源	269
4.3 热氧化工艺	154	5.3.4 砷扩散源	275
4.3.1 干氧化	156	5.3.5 锑扩散源	277
4.3.2 水汽氧化	159	5.3.6 金和铂扩散源	278
4.3.3 湿氧化	160	5.4 扩散方法	279
4.3.4 三种氧化的比较	162	5.4.1 箱法扩散	280
4.3.5 常压氢氧合成氧化	163	5.4.2 液态源扩散	281
4.3.6 分压氧化	165	5.4.3 片状源扩散	282
4.3.7 掺氯氧化	170	5.4.4 固-固扩散	283
4.3.8 高压氧化技术	174	5.4.5 涂源扩散	283
4.4 热氧化过程中杂质的分凝及		5.4.6 气态源扩散	284
再分布	182	5.4.7 闭管扩散	285
4.4.1 热氧化过程中杂质的分凝现象		5.5 有害杂质的扩散及控制	285
及其产生原因	182	5.5.1 有害杂质的类别及性质	285
4.4.2 热氧化过程中杂质的再分布	183	5.5.2 有害杂质在半导体器件中的	
4.5 氧化膜检测	187	作用	287
		5.5.3 控制有害杂质的方法	289

5.6 杂质在多晶硅中的扩散	290	6.4.4 快速热退火	355
5.6.1 多晶硅的特性	290	6.5 离子注入层的氧化和腐蚀性能	357
5.6.2 多晶硅中的杂质扩散	292	6.6 注入层的检测	360
5.6.3 多晶硅的掺杂方法	295	6.6.1 注入层的参数	360
5.7 扩散中常见的工艺问题及其处理	296	6.6.2 检测	361
5.7.1 硼扩散后薄层电阻 R_s 偏高或偏低	297	6.7 非电活性杂质的离子注入	363
5.7.2 扩散对器件击穿电压的影响及纠正措施	297	6.7.1 注入损伤形成高阻隔离层	363
5.7.3 扩散对晶体管放大倍数的影响及纠正措施	299	6.7.2 注入形成介质层	364
5.7.4 磷扩散中的一些问题	300	6.7.3 离子束混合	365
5.7.5 合金点的产生及其影响	300	6.7.4 离子的源材料	367
5.8 扩散层的测量	301	参考资料	370
5.8.1 扩散结深测量	301	第7章 隔离技术	372
5.8.2 扩散层薄层电阻测量	305	7.1 概述	372
5.8.3 扩散层杂质分布测量	308	7.1.1 隔离技术及其分类	372
参考资料	310	7.1.2 隔离工艺设计	373
第6章 离子注入	312	7.2 pn 结隔离	373
6.1 概述	312	7.2.1 标准 pn 结隔离	373
6.2 基本原理	313	7.2.2 pn 结对通隔离	376
6.2.1 平均投影射程 R_p 、标准偏差 σ_p 、横向标准偏差 Δx	313	7.2.3 集电极扩散隔离	377
6.2.2 核阻止本领 $S_n(E)$ 、电子阻止本领 $S_e(E)$	314	7.3 介质-pn 结混合隔离	378
6.2.3 R_p 、 R_p 和 σ_p 的简单计算公式	316	7.3.1 等平面氧化物隔离	379
6.2.4 LSS 理论计算 R_p 、 σ_p 和 Δx	316	7.3.2 多孔硅氧化隔离	395
6.2.5 注入杂质的分布	328	7.3.3 多晶硅隔离	398
6.2.6 沟道效应、单晶靶中的射程分布	329	7.3.4 V 形槽隔离	400
6.2.7 结深的估算	330	7.4 介质隔离	403
6.2.8 掩蔽膜最小厚度的确定	331	7.4.1 SiO_2 -多晶硅介质隔离	403
6.2.9 注入损伤及损伤分布	331	7.4.2 V 形槽介质隔离	404
6.2.10 注入损伤的消除	332	7.4.3 正沟槽介质隔离	404
6.3 离子注入工艺	333	7.4.4 改进的介质隔离	406
6.3.1 注入的工艺条件	333	7.5 隔离特性的检测与分析	406
6.3.2 注入掩蔽层的厚度	340	7.5.1 隔离特性检测	407
6.4 离子注入层的退火	341	7.5.2 隔离特性分析	408
6.4.1 热退火	342	参考资料	409
6.4.2 激光退火	352	第8章 光刻	410
6.4.3 电子束退火	355	8.1 概述	410
		8.2 光刻胶及其特性	412
		8.2.1 光刻胶的类型及感光机理	412
		8.2.2 光刻胶的性能	429
		8.2.3 光刻胶的种类	440
		8.3 光刻技术	440

8.3.1 涂胶	440	性能	565
8.3.2 前烘	444	9.3.7 膜应力及热膨胀系数的测定	566
8.3.3 定位与曝光	445	9.3.8 CVD膜腐蚀速率的测定	568
8.3.4 显影	449	9.3.9 膜的表面缺陷及针孔密度的测定	570
8.3.5 坚膜	451	9.3.10 表面形貌、晶体结构、化学组分的分析与测定	570
8.3.6 腐蚀	452	9.4 CVD膜在器件制造中的应用	576
8.3.7 去胶	456	参考资料	578
8.4 干法工艺	457	第10章 接触与互连	580
8.4.1 干法去胶	458	10.1 概述	580
8.4.2 干法腐蚀	459	10.1.1 金属化工艺的作用	580
8.4.3 干法显影	471	10.1.2 金属化系统的要求	580
8.5 光刻质量讨论	473	10.1.3 金属-半导体接触	581
参考资料	478	10.2 常用金属和金属硅化物的基本性质	582
第9章 化学气相淀积	480	10.2.1 常用金属的基本性质	582
9.1 CVD原理	480	10.2.2 常用金属硅化物的基本性质	589
9.1.1 CVD的定义及分类	480	10.2.3 金属-硅平衡相图	603
9.1.2 化学气相淀积动力学	481	10.3 金属化薄膜的制备	603
9.1.3 低压化学气相淀积原理	483	10.3.1 真空蒸发	603
9.1.4 等离子体增强化学气相淀积原理	485	10.3.2 溅射	612
9.2 化学气相淀积工艺	486	10.3.3 其它淀积技术简介	619
9.2.1 CVD工艺基础	486	10.4 肖特基势垒及其制备	620
9.2.2 常压CVD工艺特点及设备	490	10.4.1 金属-半导体肖特基势垒结特性	620
9.2.3 LTCVD SiO_2 和掺杂 SiO_2	492	10.4.2 肖特基势垒结的制作	623
9.2.4 LPCVD生产设备及一般工艺特点	500	10.4.3 肖特基势垒特性的劣化及防止措施	624
9.2.5 低压低温淀积 SiO_2 和 PSG	503	10.4.4 几种肖特基势垒二极管的结构和特点	626
9.2.6 低压中温淀积 SiO_2 和 PSG	505	10.4.5 肖特基势垒二极管的面积缩小原理	626
9.2.7 LPCVD淀积 Si_3N_4	513	10.4.6 几种常用金属-硅肖特基势垒	626
9.2.8 LPCVD淀积多晶硅和掺杂多晶硅	520	10.5 金属化互连技术	628
9.2.9 PECVD工艺	532	10.5.1 金属化系统	628
9.2.10 光CVD	551	10.5.2 互连线设计	640
9.2.11 CVD金属及金属硅化物	554	10.5.3 互连线制备	643
9.2.12 化学气相淀积用的原材料	559	10.6 金属化的检测与在线监控	648
9.3 CVD膜质量检测	563		
9.3.1 膜厚测量	563		
9.3.2 折射率测量	563		
9.3.3 介质膜的电阻率测量	564		
9.3.4 介质膜的介电强度测量	565		
9.3.5 介质膜的介电常数测量	565		
9.3.6 C-V法测试介质膜的钝化			

10.6.1 膜厚检测	648	11.7.3 PI膜的钝化工艺	702
10.6.2 表面电阻及接触电阻测量	653	11.7.4 PI膜的应用	703
10.7 附录: 金属相图	660	参考资料	704
参考资料	677	第12章 芯片参数分析	705
第11章 表面钝化	679	12.1 探针接触质量的诊断分析	705
11.1 概述	679	12.1.1 探针接触质量的电学诊断法	705
11.1.1 钝化膜及介质膜的重要性 和作用	679	12.1.2 探针接触质量诊断编程注 意事项	708
11.1.2 对钝化膜及介质膜性质的 一般要求	679	12.2 微电子测试结构在半导体 工艺监测分析中的应用	710
11.1.3 钝化膜及介质膜的种类、 特性及其适用范围	680	12.2.1 半导体材料电阻率的微电 子测试结构	710
11.2 磷硅玻璃 (PSG) 和硼磷 硅玻璃 (BPSG)	681	12.2.2 掺杂薄层电阻的微电子测 试结构	711
11.2.1 PSG 和 BPSG 的性质、特 点和钝化机理	681	12.2.3 导电薄层线宽的微电子测 试结构	715
11.2.2 PSG 和 BPSG 的钝化工艺	683	12.2.4 掩膜套准误差的测试结构	716
11.3 氮化硅 (Si_3N_4)	684	12.2.5 “欧姆接触”电阻的微电子 测试结构	718
11.3.1 Si_3N_4 的性质及钝化机理	684	12.2.6 半导体表面问题的微电子 测试结构及其分析	719
11.3.2 制备 Si_3N_4 膜的主要工艺 技术	686	12.2.7 LSI 中的微电子监测图形 分析	722
11.4 氧化铝 (Al_2O_3) 和其它 金属氧化物	687	12.2.8 监测结构参数的自动测试 系统	726
11.4.1 Al_2O_3 的性质、特点	687	12.3 集成电路中元器件的性能 分析	727
11.4.2 Al_2O_3 膜的制备工艺	689	12.3.1 集成电路中电阻的性能 分析	728
11.4.3 其它金属氧化物	695	12.3.2 集成电路中晶体管的性能 分析	731
11.5 半绝缘掺氧 (或掺氮) 多 晶硅 (SIPOS)	695	12.3.3 集成电路中扩散二极管的 性能分析	737
11.5.1 SIPOS 钝化的特点和原理	695	12.3.4 集成电路中扩散结电容的 性能分析	741
11.5.2 SIPOS 钝化工艺	697	12.4 双极逻辑门电路的性能 分析	741
11.5.3 SIPOS 钝化的应用	699	12.4.1 TTL 门电路的性能分析	742
11.6 非晶硅 (a-Si:H)	699	12.4.2 ECL 门电路的性能分析	752
11.6.1 a-Si:H 钝化的特点及 机理	699	12.4.3 I ² L 门电路的性能分析	755
11.6.2 a-Si:H 钝化膜的生长及 基本机理	700	12.4.4 STTL 门电路的性能分析	758
11.6.3 a-Si:H 钝化膜在硅器件及 集成电路上的应用	700		
11.7 聚酰亚胺	700		
11.7.1 聚酰亚胺系树脂的通性	700		
11.7.2 聚酰亚胺 (PI) 的性质和钝 化机理	701		

12.5 模拟电路芯片的性能分析	762	13.6.2 叩焊和梁式引线技术	828
12.5.1 运算放大器芯片的性能分析	762	13.6.3 集成电路自动载带键合	831
12.5.2 转换器芯片的性能分析	764	13.6.4 引线键合的设备、工具和材料	836
12.5.3 D/A 与运算放大器衔接后的性能分析	766	参考资料	855
12.6 MOS 电路芯片的性能分析	766	第14章 密封与检漏	856
12.6.1 MOS 单管的基本参数失常分析	767	14.1 概述	856
12.6.2 MOS 集成电路的直流参数分析	780	14.2 密封要求	856
12.6.3 MOS 集成电路的交流参数分析	785	14.2.1 气密性	856
12.6.4 MOS 集成电路的功能分析	786	14.2.2 湿度控制	857
参考资料	795	14.2.3 工艺温度	858
第13章 组装	797	14.2.4 静电防护	858
13.1 概述	797	14.3 焊封工艺	859
13.2 圆片减薄	797	14.3.1 突缘电阻焊	859
13.2.1 圆片减薄的目的意义	797	14.3.2 钎焊密封工艺	865
13.2.2 减薄方法分类和特点	797	14.3.3 平行缝焊密封工艺	870
13.2.3 减薄工艺	798	14.3.4 特种焊接方法	873
13.2.4 减薄的技术要求和检测方法	799	14.4 低温玻璃密封工艺	874
13.2.5 减薄的设备与材料	799	14.4.1 基本要求	874
13.3 划片与分片	801	14.4.2 析晶玻璃(微晶玻璃)与非析晶玻璃的比较	875
13.3.1 划片、分片的目的和要求	801	14.4.3 常用低温玻璃料成分	875
13.3.2 划片的分类和特点	801	14.4.4 常用低温玻璃料性能	876
13.3.3 划片工艺	801	14.4.5 低温玻璃密封工艺	877
13.3.4 分片	805	14.5 粘封工艺	878
13.3.5 划片设备与刀具	805	14.5.1 常用材料的选择	878
13.4 检验	807	14.5.2 粘封工艺	880
13.4.1 检验的目的与意义	807	14.5.3 常见问题及解决办法	882
13.4.2 检验方法和设备	807	14.6 塑料封装	882
13.4.3 检验标准	808	14.6.1 塑封材料	882
13.5 装架	809	14.6.2 塑封工艺	885
13.5.1 装架的目的和要求	809	14.6.3 质量与检验	886
13.5.2 装架的分类和特点	809	14.7 检漏	887
13.5.3 装架工艺	810	14.7.1 漏率	887
13.5.4 装架设备与工具	818	14.7.2 氮质谱检漏仪背压法	887
13.6 键合	821	14.7.3 放射性同位素 Kr^{85} 检漏法	895
13.6.1 丝焊技术	821	14.7.4 氟碳化合物加压检漏法	898
		14.7.5 半导体管壳检漏	900
		参考资料	901
		第15章 管壳	902
		15.1 概述	902
		15.2 管壳类型	903

15.3 硅器件管壳设计	905	16.4.3 常用筛选项目或手段简介	1020
15.3.1 管壳电参数设计	905	16.4.4 按质量或可靠性等级确定 的筛选程序	1024
15.3.2 管壳的热设计	918	16.4.5 PDA 控制和验收	1029
15.3.3 管壳结构设计	929	16.4.6 可靠性考核	1029
15.4 管壳制造工艺	932	16.4.7 若干可靠性考核试验实例	1033
15.4.1 金属-玻璃管壳制造工艺	932	16.5 硅器件的辐照效应及其 加固	1046
15.4.2 多层陶瓷管壳制造工艺	938	16.5.1 辐射环境	1046
15.4.3 黑陶瓷低熔玻璃管壳工艺	943	16.5.2 辐照效应及其损伤机理	1046
15.4.4 陶瓷金属化工艺	946	16.5.3 硅器件的核加固技术	1049
15.4.5 管壳金属零件的清洁处理	952	16.5.4 硅器件的电磁脉冲效应及 其加固	1065
15.4.6 钎焊工艺	954	参考资料	1067
15.4.7 管壳电镀工艺	956	第17章 清洗	1069
15.5 管壳材料	961	17.1 概述	1069
15.5.1 金属材料	961	17.2 硅片表面洁净度	1069
15.5.2 陶瓷材料	964	17.2.1 硅片表面状态分类	1069
15.5.3 焊料	967	17.2.2 污染质的来源	1070
15.6 新型管壳简介	969	17.2.3 污染质的分类	1072
15.6.1 芯片载体和引线网阵	969	17.2.4 硅片表面洁净度	1073
15.6.2 用于多芯片封装的传热组 件 (TCM)	971	17.3 清洗的基本原理	1074
15.6.3 带有热管的封装	973	17.3.1 清洗的热力学过程	1074
15.6.4 LSI 和 VLSI 封装中的软误 差问题	974	17.3.2 化学清洗的一般步骤	1074
参考资料	975	17.3.3 硅片清洗剂	1075
第16章 硅器件可靠性	977	17.3.4 其它硅片清洗工艺	1082
16.1 概述	977	17.3.5 硅片的干燥	1083
16.1.1 半导体器件产品的失效 规律	977	17.3.6 碱金属离子沾污的预防和 清除	1083
16.1.2 怎样提高硅器件的可靠性	980	17.4 清洗用纯水、试剂、气体 和环境简介	1084
16.2 加速应力试验	982	17.4.1 纯水	1084
16.2.1 加速试验的目的和意义	982	17.4.2 化学试剂的级别	1085
16.2.2 加速试验的基本原理	982	17.4.3 气体	1087
16.2.3 加速试验的实施方法	985	17.4.4 环境	1087
16.2.4 同加速试验有关的若干技 术问题	996	17.5 硅片清洗	1088
16.3 失效分析	999	17.5.1 常用硅片清洗腐蚀液	1088
16.3.1 概述	999	17.5.2 典型清洗方法	1089
16.3.2 失效分析技术	999	17.5.3 清洗效果的检测	1092
16.3.3 失效模式和失效机理	1008	17.6 器具和物料的清洗	1093
16.4 可靠筛选和考核	1019	17.7 化学清洗中的安全操作	1096
16.4.1 筛选的目的和意义	1019	17.7.1 关于化学药品的危险性	1096
16.4.2 筛选条件的选择	1019		

17.7.2 安全操作	1097	及物理模型	1223
17.8 化学清洗常用器具和设备		19.4.3 器件分析程序的用户输入	
简介	1102	语句	1229
17.8.1 常用器具	1102	19.5 计算机辅助工艺模拟	1236
17.8.2 常用设备	1103	19.5.1 计算机辅助工艺模拟的意	
参考资料	1107	义和内容	1236
第18章 掩模版制造	1108	19.5.2 工艺模型模拟程序的语言	
18.1 掩模原版制造	1109	文本	1237
18.1.1 刻图照相法	1109	19.5.3 工艺的物理模型	1245
18.1.2 计算机辅助制版	1113	19.6 计算机辅助自动测试及	
18.1.3 光学图形发生器制版	1124	分析	1253
18.2 主掩模制造	1129	19.6.1 意义	1253
18.2.1 精缩机	1129	19.6.2 自动测试原理	1253
18.2.2 精缩工艺	1131	19.6.3 测试软件	1258
18.2.3 分步重复的掩模套合误差		19.7 展望	1264
分析	1137	19.7.1 大网络模拟技术	1265
18.2.4 电子束制版	1138	19.7.2 版图自动设计技术	1266
18.3 工作掩模制造	1145	19.7.3 自动版图分析和校验系统	1267
18.3.1 复印设备及原理	1145	19.7.4 器件和工艺的精确模拟	1267
18.3.2 复印工艺	1146	19.7.5 可测试性设计	1268
18.3.3 复印保真度	1148	19.7.6 优化技术	1268
18.4 底版材料	1150	19.7.7 CAD 数据库和 CAD 系统	1268
18.4.1 几种底版材料的性能比较	1150	参考资料	1268
18.4.2 匀胶铬版	1151	第20章 硅器件工艺展望及新工艺	
18.4.3 氧化铁版	1157	简介	1271
18.5 掩模质量控制	1162	20.1 硅工艺发展概述	1271
18.5.1 质量控制标准	1162	20.1.1 工艺发展与器件发展的	
18.5.2 质量检验方法	1163	关系	1271
第19章 计算机辅助设计 (CAD)	1168	20.1.2 双极及 MOS 工艺水平	1273
19.1 CAD 概述	1168	20.1.3 工艺发展的总趋势	1274
19.2 计算机辅助逻辑设计	1169	20.2 硅工艺发展现状及预测	1275
19.2.1 逻辑设计阶段的 CAD 基本		20.2.1 硅圆片大直径化	1275
内容	1170	20.2.2 材料低缺陷化	1278
19.2.2 逻辑综合	1171	20.2.3 横向微细加工技术	1279
19.2.3 逻辑模拟	1174	20.2.4 纵向微细加工及工艺低	
19.3 电路分析	1181	温化	1285
19.3.1 电路方程的建立	1181	20.2.5 工艺控制精密化	1290
19.3.2 线性代数方程的求解	1190	20.3 新工艺技术选介	1294
19.3.3 非线性电路的直流分析	1201	20.3.1 半导体工艺中的激光加工	
19.3.4 动态电路的瞬态分析	1209	技术	1294
19.4 计算机辅助器件分析	1222	20.3.2 吸除技术	1306
19.4.1 器件分析简介	1222	20.3.3 绝缘衬底上硅单晶化 (SOI)	
19.4.2 器件分析程序的数值求解		技术	1311
		参考资料	1317

硅器件与集成电路

主 编

陈中佛

副 主 编

蹇哲人 王宗绪 何玉表

李春发 赵振华

主 审

许居衍

副 主 审

俞忠钰 车运洪 郑崇伟

吴远庆 汪炳南