

R73/673
709

电子工业生产技术手册

(8)

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

9210196

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书以 GaAs 和 InP 材料为主,系统地阐述了化合物半导体器件和单片集成电路的基础理论、设计原则及其制造的工艺方法、工艺原理和工艺质量的控制与检测。全书共16章,主要由两部分内容组成。前一部分为化合物半导体器件及集成电路的通用工艺,包括清洗与腐蚀、外延、离子注入、扩散、金属-半导体接触及金属化、微细光刻、介质膜、组装、管壳及封装等;后一部分为器件的设计与制造及可靠性,包括微波及毫米波二端器件、场效应器件、短波长光电器件、长波长光电器件、可靠性及质量控制,最后一章为新器件和集成技术。书中萃集了大量实用的数据、图表、曲线和公式。

本书供从事化合物半导体器件及集成电路的生产、科研、教学和技术咨询的有关技术人员、教师、工程师、专家和科学家们使用;对高等院校和研究生院的有关专业,既是一本内容丰富的技术工具书,又是一本指导教学的专业参考书。

电子工业生产技术手册

(8)

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

北京昌平长城印刷厂印装

787×1092毫米 16开本 印张65 插页2 1515千字

1992年5月第一版 1992年5月第一次印刷 印数: 0,001-34,000册

ISBN 7-118-00496-0/TN·95 定价: 55.10元

科技新书目 267-039

3910156

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點,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 武尔桢 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80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，我们希望能从事半导体生产、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设计和工艺，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（含永川微电子研究所），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，骊山微电子有限公司，辽宁集成电路研究所，北京东光电子厂，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与了重要支持, 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, 欢迎读者给与批评指正。

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

编 者 序

化合物半导体器件及其单片集成技术是微电子光电子技术的前沿,其理论丰富、技术新颖、发展迅速、应用广泛,其中微波毫米波器件、光电器件、微波单片集成电路、超高速数字集成电路、光电集成电路和集成传感器等在科学技术、国防军事、航空航天及国民经济和社会生活等各个方面将获得越来越广泛的应用。特别是微电子技术和光电子技术的结合,将给未来人类社会带来无法估量的变革和进步。所有这一切本质上应归功于化合物半导体材料具有不同于硅材料的晶体结构,多能谷直接跃迁型能带结构,禁带宽度变化范围大,材料种类繁多且各自具有优异的特性等,但是成功的关键还在于人们根据化合物半导体材料及其器件的特点,在硅工艺的基础上发明了一系列新结构、新技术和新工艺,用人工方法成功地获得各种各样的异质结结构、量子阱结构、超晶格结构、和超导薄膜结构等各种新结构材料,从而导致了一系列新器件及集成电路的诞生,使器件的设计和制造由原来的微米、亚微米、深亚微米的“掺杂工程”发展到以埃($\text{\AA}$)为量级的“能带工程”。值得指出的是,“能带工程”将成为今后一个相当长时期内制造各种高性能化合物半导体器件及其集成电路的核心技术。

面对化合物半导体器件及其集成电路日新月异的发展,新结构、新原理、新技术、新工艺、新器件的不断涌现,在取材上我们打算把所有的内容都概括在本书中。根据《电子工业生产技术手册》的要求,结合化合物半导体器件的特点,我们在1983年10月制订并印发了本书各章节的编写细目及其写与审的具体要求,初稿后又经过四次修改,力图使本书在足够长的时期内对生产、科研和教学有较大的实用价值和指导作用,于1985年正式定稿。

全书内容分四个部分,共16章:第一部分即第1章,扼要地介绍了化合物半导体器件的重要作用、发展历史、材料特性和工艺现状;第二部分即第2章至第10章,分别系统阐述了以Ⅲ-V族为主的化合物半导体器件及其单片集成电路的通用制造技术的基本理论、基本方法及其原理和工艺质量的控制与监测;第三部分即第11章至第15章,专门讨论了主要的化合物半导体器件的设计、制造、工艺流程、工艺质量对器件性能的影响及其控制、性能参数的测量和器件的可靠性;最后部分即第16章,对近几年发展很快,但仍未进入工业化生产的器件及单片集成电路,仅就其有关的基本理论、设计思想、工艺方法等作简单介绍。对另一些性能优异而正处于积极探索中的新颖器件以及在努力开发中但尚未达到工业实用化的各种新技术,本书这次均不作介绍,留待再版时增补。

值此机会,谨对参加本书编审的全体专家、教授、学者的辛勤工作和有效协作,对电子工业部河北半导体研究所、南京电子器件研究所、永川光电技术研究所、中科院上海冶金研究所、北京大学、成都电讯工程学院等单位所给予的大力支持,表示衷心感谢。

由于化合物半导体器件及其单片集成技术发展非常迅速,参加本书编写的人员较多,加上我们的水平所限,尽管我们做了很大努力,但书中仍然有不少未能如意的地方,也难免存在错误,恳请读者指正。

常振华 宋马成

一九八七年正月二十八日

目 录

第3篇 化合物半导体器件

第1章 概论 1	
1.1 化合物半导体材料 1	
1.1.1 发展简史 2	
1.1.2 主要特性 3	
1.2 化合物半导体器件 6	
1.2.1 微波器件 6	
1.2.2 光电器件 8	
1.3 化合物半导体器件工艺 10	
参考资料..... 12	
第2章 表面清洗与腐蚀 13	
2.1 概述 13	
2.2 表面清洗 13	
2.2.1 化合物半导体表面及其沾污 13	
2.2.2 表面净化技术 18	
2.2.3 质量控制 30	
2.3 湿法化学腐蚀 33	
2.3.1 湿法化学腐蚀的基本原理和特性 33	
2.3.2 常用的化学腐蚀液体系及其特性 36	
2.3.3 影响化学腐蚀的因素 54	
2.3.4 腐蚀技术的应用 56	
2.4 干法腐蚀 58	
2.4.1 干法腐蚀与湿法腐蚀 58	
2.4.2 干法腐蚀的分类 59	
2.4.3 干法腐蚀常用的气体 60	
2.4.4 III-V族化合物的干法腐蚀 63	
2.5 清洗腐蚀后表面的检测及分析 79	
2.5.1 检测的目的及内容 79	
2.5.2 常用检测方法及典型实例 81	
参考资料..... 88	
第3章 外延 89	
3.1 概述 89	
3.2 汽相外延 (VPE)..... 90	
3.2.1 GaAs MESFET 材料的多层汽相外延技术 91	
3.2.2 GaAs 参放变容管材料的薄层变浓度汽相外延技术 98	
3.2.3 GaAs IMPATT 材料的多层汽相外延技术 102	
3.2.4 InP 体效应管材料的汽相外延技术 109	
3.2.5 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{GaAs}$ 探测器材料的汽相外延技术 113	
3.3 液相外延(LPE)..... 117	
3.3.1 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 发光管多层异质结液相外延 117	
3.3.2 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}/\text{InP}$ 激光器多层异质结液相外延 131	
3.3.3 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 探测器多层异质结液相外延 140	
3.4 外延材料制备新工艺——MOCVD和MBE 143	
3.4.1 金属有机化学汽相淀积(MOCVD) 143	
3.4.2 分子束外延(MBE) 148	
3.4.3 MOCVD 与 MBE 的比较 154	
3.5 外延工艺对材料性能的影响 155	
3.5.1 外延工艺对微波材料性能的影响 155	
3.5.2 LPE 工艺对光电器件外延材料性能的影响 193	
3.6 外延材料参数对器件性能的影响 205	
3.6.1 外延材料参数对 GaAs MESFET 性能的影响 205	
3.6.2 外延材料参数对 GaAs 变容管性能的影响 210	
3.6.3 外延材料参数对 GaAs IMPATT	

性能的影响	211	4.6 离子注入层的测量	297
3.6.4 外延材料参数对 GaAs 体效应管性能的影响	214	4.6.1 注入层辐射损伤的测量	297
3.6.5 外延层质量对 LED 和 LD 性能的影响	216	4.6.2 注入层电学性质的测量	298
3.7 外延层特性测试	218	4.6.3 注入层杂质原子分布的测量	299
3.7.1 厚度	218	4.7 工艺应用	299
3.7.2 载流子浓度及其分布	221	4.8 附表	304
3.7.3 方块电阻	232	参考资料	319
3.7.4 迁移率分布	233	第5章 扩散	321
3.7.5 组份	235	5.1 概述	321
3.7.6 晶格失配	239	5.2 扩散原理和方法	321
3.7.7 位错和层错	239	5.2.1 扩散方程	321
3.7.8 表面和界面缺陷	243	5.2.2 扩散系数及其影响因素	322
3.7.9 禁带宽度	247	5.2.3 扩散机理	325
3.7.10 峰值波长与发光强度	248	5.2.4 扩散方法	326
3.7.11 外延层杂质成分	251	5.3 杂质在 GaAs 中的扩散	327
参考资料	253	5.3.1 杂质扩散源	327
第4章 离子注入	255	5.3.2 典型扩散工艺	327
4.1 概述	255	5.3.3 扩散参数与工艺条件间的关系	329
4.2 离子射程的基本概念	256	5.4 杂质在其它化合物半导体中的扩散	337
4.2.1 射程参数	256	5.4.1 杂质扩散源	337
4.2.2 注入离子在靶内的分布	257	5.4.2 Cd 在 InP 中扩散的典型实例	339
4.3 电活性杂质离子注入	259	5.4.3 扩散层参数与工艺条件的关系	339
4.3.1 衬底材料的筛选	259	5.5 扩散工艺在器件制造中的应用	348
4.3.2 n 型杂质离子注入	260	5.5.1 在制作 GaAs 器件中的应用	349
4.3.3 p 型杂质离子注入	266	5.5.2 在其它化合物半导体器件制备中的应用	350
4.3.4 其他化合物半导体中的离子注入	269	5.5.3 扩散工艺对器件特性的影响	351
4.3.5 注入条件的选取	272	5.6 扩散层质量的检测	352
4.3.6 n 型和 p 型掺杂剂离子的产生及有关的工艺问题	274	5.6.1 结深的测量	352
4.4 非电活性杂质离子注入	276	5.6.2 薄层电阻的测量	353
4.4.1 $^1\text{H}^+$ 注入	276	5.6.3 载流子浓度及其分布	354
4.4.2 O^+ 注入	286	5.6.4 扩散层的均匀性和表面质量	354
4.4.3 He^+ 、 B^+ 注入	290	5.6.5 pn 结特性	355
4.4.4 各种离子注入隔离性能的比较	293	5.7 附表	356
4.5 辐射损伤及退火	293	参考资料	357
4.5.1 化合物半导体中的基本缺陷	293	第6章 金属-半导体接触及金属化	359
4.5.2 离子注入产生的辐射损伤	293	6.1 概述	359
4.5.3 管式炉热退火	295	6.2 肖特基势垒工艺	360
4.5.4 快速退火	296		

6.2.1 化合物半导体肖特基势垒的分类及其特点	360	7.3 曝光方法	447
6.2.2 肖特基势垒的势垒高度及其测量方法	360	7.3.1 接触式或接近式紫外曝光技术	447
6.2.3 势垒高度的控制	369	7.3.2 紫外投影曝光技术	449
6.2.4 肖特基势垒的电学特性	371	7.3.3 红外对准曝光技术	452
6.2.5 肖特基势垒的理想因子 n 及其测量	374	7.3.4 激光全息曝光技术	453
6.2.6 制作肖特基势垒的一般方法	377	7.3.5 远紫外线曝光技术	456
6.2.7 肖特基势垒制作过程中常见的工艺问题	382	7.3.6 电子束曝光技术	459
6.2.8 GaAs 肖特基势垒制作工艺	383	7.3.7 X射线曝光技术	463
6.2.9 其它化合物半导体肖特基势垒	391	7.3.8 离子束曝光技术	467
6.3 欧姆接触工艺	393	7.3.9 各种曝光技术的性能比较	470
6.3.1 对欧姆接触的要求	393	7.4 特殊工艺技术	471
6.3.2 化合物半导体欧姆接触的类型	393	7.4.1 金属剥离技术	471
6.3.3 接触电阻率的测量	394	7.4.2 补偿光刻技术	476
6.3.4 n 型 GaAs 欧姆接触	399	7.4.3 积聚掩蔽技术	477
6.3.5 p 型 GaAs 欧姆接触	408	7.4.4 侧向钻蚀刻蚀法	479
6.3.6 其它 III-V 族化合物半导体欧姆接触	410	7.4.5 边缘电镀技术	482
6.3.7 其它欧姆接触辅助工艺及激光合金化	413	7.4.6 各种特殊工艺方法的性能比较	483
6.4 热沉工艺	416	7.5 刻蚀方法	483
6.4.1 热沉的种类及对热沉的要求	416	7.6 质量控制	489
6.4.2 常用的热沉结构及热沉的扩展热阻	417	7.7 器件制作的光刻实例	490
6.4.3 电镀热沉工艺	421	7.7.1 化合物半导体二端器件光刻工艺	490
6.5 互连工艺	425	7.7.2 化合物半导体三端器件光刻工艺	491
6.5.1 对互连的一般要求及常用的互连结构	425	参考资料	494
6.5.2 互连金属化系统的选择	426	第 8 章 介质膜	496
6.5.3 二氧化硅隔离互连	426	8.1 概述	496
6.5.4 聚酰亚胺隔离互连	428	8.2 无机介质膜	496
6.5.5 空气桥互连	430	8.2.1 自体氧化膜	497
6.5.6 穿孔互连	431	8.2.2 SiO_2 膜	508
参考资料	434	8.2.3 Si_3N_4 膜	514
第 7 章 微细光刻技术	437	8.2.4 Al_2O_3 膜	519
7.1 概述	437	8.3 有机介质膜	522
7.2 光致抗蚀剂	439	8.4 新的介质膜及多层膜	526
		8.4.1 表面预处理	526
		8.4.2 非晶态膜	527
		8.4.3 单晶介质膜和多层膜	528
		8.5 介质膜的检测	529
		8.5.1 组分和结构的检测	529
		8.5.2 缺陷的检测	533
		8.5.3 膜厚	535

8.5.4 应力	539	9.10 检漏	599
8.5.5 电学性质	540	9.10.1 检漏原理	599
8.6 介质膜的应用	552	9.10.2 管壳和器件的检漏标准	599
参考资料	552	9.10.3 检漏方法	600
第9章 组装	553	参考资料	601
9.1 概述	553	第10章 管壳及封装	602
9.2 晶片分割	553	10.1 概述	602
9.2.1 晶片特性测试	554	10.2 化合物半导体器件管壳的 典型结构	607
9.2.2 晶片分割	554	10.2.1 分立器件典型结构	607
9.2.3 绷片技术	555	10.2.2 集成电路管壳的典型结构	608
9.2.4 外观检查	555	10.2.3 光电子器件管壳的典型结构	613
9.3 芯片焊接	555	10.3 化合物半导体管壳设计	616
9.3.1 钎焊	556	10.3.1 管壳电参数的分析和计算	616
9.3.2 热压焊	564	10.3.2 管壳热参数的分析和计算	628
9.3.3 导电胶粘接	565	10.3.3 光电器件封装的耦合设计	633
9.3.4 焊接质量检验	567	10.3.4 管壳结构设计	636
9.4 引线键合	567	10.4 管壳制造工艺	641
9.4.1 金属引线	567	10.4.1 多层陶瓷工艺	641
9.4.2 热压键合	569	10.4.2 丝网印刷工艺	645
9.4.3 超声键合	572	10.4.3 微型同轴管壳工艺	650
9.4.4 其它焊接方法	574	10.4.4 可见光LED封装工艺	651
9.4.5 劈刀设计	576	10.4.5 耦合工艺	652
9.4.6 常见工艺问题	581	10.4.6 钎焊工艺	654
9.4.7 键合质量检验	581	10.4.7 电镀工艺	655
9.5 微波器件的组装	583	10.5 半导体封装材料	658
9.5.1 大功率微波二极管的组装	583	10.5.1 陶瓷材料	658
9.5.2 毫米波二极管的组装	583	10.5.2 玻璃材料	661
9.5.3 功率场效应晶体管的组装	586	10.5.3 引线框材料	663
9.6 光电器件的组装	587	10.5.4 热沉材料	664
9.6.1 发光管(LED)的封装	588	10.6 半导体封装新技术	665
9.6.2 激光器的封装	589	10.6.1 热传导组件	665
9.7 集成电路的组装	590	10.6.2 半导体封装的计算机辅助 设计	666
9.7.1 倒装焊接法	590	参考资料	669
9.7.2 梁式引线法	591	第11章 微波及毫米波二端器件	670
9.7.3 凸点载带组焊	591	11.1 概述	670
9.8 内涂敷	592	11.2 变容管工艺	672
9.8.1 内涂敷的作用和意义	592	11.2.1 器件设计	672
9.8.2 内涂敷方法	592	11.2.2 工艺过程	680
9.9 密封工艺	593	11.2.3 参数测量	685
9.9.1 器件对密封的要求	593	11.3 混频管工艺	686
9.9.2 密封方法	594		
9.9.3 密封工艺质量分析	598		

11.3.1 器件设计	688	12.5.3 夹断电压 $-V_p$	769
11.3.2 工艺过程	697	12.5.4 沟道电阻及外部串联电阻的 测量	769
11.3.3 参数测量	702	12.5.5 微波参数测量	770
11.4 雪崩二极管工艺	704	12.6 GaAs MESFET 的电参数 与材料及工艺质量的关系	771
11.4.1 器件设计	705	12.7 其它场效应晶体管	776
11.4.2 工艺过程	713	12.7.1 GaAs JFET	776
11.4.3 参数测量	719	12.7.2 GaAs MISFET	777
11.5 耿二极管工艺	720	12.7.3 InP MESFET	778
11.5.1 器件设计和参数分析	721	12.7.4 InP MISFET	780
11.5.2 工艺过程	731	参考资料	781
11.5.3 参数测量	734	第13章 短波长光电器件	782
参考资料	735	13.1 概述	782
第12章 微波场效应晶体管	737	13.2 发光二极管的结构选择和 参数设计	786
12.1 概述	737	13.2.1 AlGaAs/GaAs 正面发光二 极管	787
12.2 GaAs MESFET 器件结构 设计	739	13.2.2 AlGaAs/GaAs 侧面发光二 极管	804
12.2.1 直流参数设计公式、图表、 数据	739	13.2.3 工艺流程	813
12.2.2 微波参数设计公式、图表、 数据	743	13.2.4 可见光发光二极管	816
12.2.3 微波低噪声 GaAs MESFET 设计公式、图表、数据	746	13.3 半导体激光器的结构选择和 参数设计	820
12.2.4 微波双栅 GaAs MESFET 设 计公式、图表、数据	749	13.3.1 激光器的结构选择	820
12.2.5 微波功率 GaAs MESFET 设 计公式、图表、数据	752	13.3.2 AlGaAs/GaAs 平面条形激 光器	823
12.3 GaAs MESFET 工艺流程	756	13.3.3 AlGaAs/GaAs 平面条形激光 器工艺流程	838
12.3.1 各种工艺流程简述	756	13.3.4 激光器的退化及其防止措施	839
12.3.2 “先源漏后栅”工艺流程、 框图及示意图	758	13.4 光发射器件参数测试	841
12.3.3 “先栅后源漏”工艺流程、 框图及示意图	759	13.4.1 电学参数测试	841
12.3.4 主要工艺简要说明	759	13.4.2 光学参数测试	844
12.3.5 两种工艺流程的优缺点	763	13.4.3 热学参数测试	852
12.4 GaAs MESFET 工艺质量 检验	764	13.5 硅光电探测器简介	853
12.4.1 光刻质量检验	764	参考资料	857
12.4.2 势垒特性检测	764	第14章 长波长光电器件	860
12.4.3 欧姆接触电阻测量	765	14.1 概述	860
12.5 GaAs MESFET 参数检测	766	14.2 InGaAsP/InPLED	861
12.5.1 伏-安特性研究	766	14.2.1 InGaAsP/InP 发光二极管的 特点和结构	861
12.5.2 饱和漏电流 I_{DSS}	768		

14.2.2 InGaAsP/InP 发光二极管的结 构及工艺设计	864	15.3.1 发光二极管和激光器的失效 模式	944
14.3 InGaAsP/InP 激光器 (LD)	876	15.3.2 寿命和加速寿命试验	946
14.3.1 低阈值电流激光器的结构和 特性	876	15.3.3 光电器件的失效机理分析	949
14.3.2 合面 BH 激光器	878	15.3.4 光电器件筛选和质量控制	951
14.3.3 BC 结构激光器	887	15.4 辐照效应及加固技术	953
14.3.4 器件典型参数和特性	890	15.4.1 辐照对化合物材料的影响	953
14.4 InGaAsP/InP 结型光电探 测器 (PD)	892	15.4.2 GaAs 雪崩器件的辐照效应及 加固	957
14.4.1 InGaAsP/InP 结型探测器的 结构和特点	892	15.4.3 GaAs 耿二极管辐照效应及 加固	958
14.4.2 pin 光电二极管的结构和工艺 设计	892	15.4.4 GaAs MESFET 的辐照效应及 加固	960
14.4.3 APD 的结构和工艺设计	902	15.4.5 其它器件的辐照效应及 加固	961
14.5 InGaAsP/InP 系光电器件的 参数测量	920	15.5 附录	962
14.5.1 LED 和 LD 参数测量	920	15.5.1 化合物微波半导体器件考核 试验项目与条件	962
14.5.2 pin, APD 参数测量	920	15.5.2 化合物光电器件质量考核项 目及条件	964
参考资料	923	参考资料	964
第15章 可靠性与质量控制	925	第16章 新型器件和单片集成电路	965
15.1 概述	925	16.1 概述	965
15.2 GaAs 微波半导体器件的可 靠性与质量控制	926	16.2 新型器件	966
15.2.1 小信号 GaAs MESFET 的可 靠性与质量控制	926	16.2.1 AlGaAs/GaAs 高电子迁移率 晶体管 (HEMT)	967
15.2.2 功率 GaAs MESFET 的可 靠性与质量控制	931	16.2.2 AlGaAs/GaAs 异质结双极晶 体管 (HBT)	970
15.2.3 GaAs 耿二极管的可靠性与 质量控制	935	16.2.3 多量子阱 (MQW) 激光器和 动态单模 (DSM) 激光器	975
15.2.4 GaAs 雪崩二极管的可靠性与 质量控制	937	16.3 GaAs 单片超高速数字集成 电路 (VHSIC)	979
15.2.5 GaAs 肖特基势垒混频二极管 的可靠性与质量控制	939	16.3.1 单片数字电路的基本逻辑器 件、元件及逻辑电路	979
15.2.6 GaAs 变容二极管的可靠性与 质量控制	941	16.3.2 GaAs MESFET 数字电路的 集成技术	982
15.2.7 半导体器件筛选应力和时间 的数理统计选择方法—— TTSM	943	16.4 GaAs 单片微波集成电路 (MMIC)	989
15.3 光电器件的可靠性与质量 控制	944	16.4.1 GaAs 单片微波集成电路的 结构和工艺设计	989
		16.4.2 GaAs 单片微波电路的集成 技术	996

16.5 GaAs光电单片集成电路		1. 能带结构	1007
(OEIC)	999	2. 价带和导带的能态密度	1008
16.5.1 单片光接收电路	999	3. 晶格常数和能隙	1009
16.5.2 单片光发射电路	1001	4. 迁移率、载流子浓度和电阻率	1011
16.5.3 激光器和监控探测器的单片		5. 击穿电压与耗尽层	1016
电路	1004	6. 一些光学和热学性质	1017
参考资料	1006	7. 常数表	1021
附录	1007	8. 新旧计量单位换算	1021

第1章 概 论

陆懋权

硅(Si)器件及其集成电路对人类生产力的发展和社会生活已作出巨大贡献,并将继续发挥其深远的影响。但是,由于硅材料固有性能的限制,硅器件不能满足人们在某些特殊领域的要求。例如,在制作微波器件,微波单片集成电路、超高速数字集成电路、光电器件以及光集成和光电集成等方面,必须采用化合物半导体来完成硅所不能完成的使命。

微波器件除满足军事上的需要外,还用于中继微波通信、卫星通信、广播电视、资源开发、交通管制、医疗以及消费电子产品等微波系统。微波单片集成电路特别适合于要求采用大量同样电路的系统,消耗量大或销售量大的装置。诸如军事上用来跟踪宇宙飞船、弹道导弹、军舰和巡航飞机的相控阵雷达;投射式微波干扰机;导弹用无线电引信装置;以及民用直播卫星电视接收机等。

在尖端的科技和军事领域,如分析宇宙飞船发出的视频信号,模拟核反应堆中的等离子粒子以及发展下一代电子对抗中的中继人为干扰机,皆需要用超高速计算机来处理信息。目前,即使最先进的Si集成电路计算机也不能执行这些任务;而且由于Si材料性能的限制,将来也无法得以完成。因此,正在努力开发GaAs和GaAs-Al_xGa_{1-x}As系的超高速数字集成电路(VHSIC),并且已经取得巨大进展。

化合物半导体光电器件已在显示、数字唱片、信息处理和光纤通信等方面获得应用;而且还将会用于光雷达、夜视装置、监视烟雾、防止汽车和船舶碰撞以及精密测量等方面。尤其引人注目的是以光导纤维为传输线路的所谓光纤通信,它将在九十年代广泛进入社会生活的各个领域,成为信息社会的重要支柱。

目前,用化合物半导体研制的光集成,特别是光电集成,也正在迅速发展。

此外,在传感器方面,化合物半导体还起着补充Si之不足的作用。

总之,由于科学技术和社会发展的需要;同时,由于材料和工艺上的重大突破,已成功地制造出各种高性能的化合物半导体器件及集成电路,并获得广泛的应用,而且正在迅速发展。这必将极大地丰富电子学的内容。

1.1 化合物半导体材料

由两种或两种以上元素所组成的具有半导体特性的化合物,称为化合物半导体材料。严格地说,化合物半导体应包括晶态无机化合物及其固溶体、非晶态无机化合物、有机化合物和氧化物半导体。本篇所述的化合物半导体仅限于晶态无机化合物及其固溶体。它们一般由元素周期表里的Ⅲ-V族、Ⅲ-VI族、Ⅳ-Ⅳ族和Ⅳ-VI族中B类、亦即副族元素组成。

9210196