



半导体器件制造技术丛书 2

硅材料制备



国防工业出版社



半导体器件制造技术丛书 2

硅 材 料 制 备

《半导体器件制造技术丛书》编写组 编

国防工业出版社

1972

内 容 简 介

本书系《半导体器件制造技术丛书》之二。介绍了多晶硅和单晶硅的常用生产工艺和产品质量的检验方法，并对生产中经常出现的问题进行了讨论。此外还介绍了一种性能更为优越的半导体材料——砷化镓的单晶制备方法。

本书浅显易懂，工艺性强，并同时进行了适当的理论分析，可供从事半导体材料生产的工人、革命干部和革命技术人员以及有关院校革命师生参考。

半导体器件制造技术丛书 2

硅 材 料 制 备

(只限国内发行)

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 11¹/₂ 239 千字

1972 年 5 月第一版 1972 年 5 月第一次印刷

统一书号：15034·1254 定价：0.95 元

毛主席语录

中国共产党是全中国人民的领导核心。没有这样一个核心，社会主义事业就不能胜利。

人民群众有无限的创造力。他们可以组织起来，向一切可以发挥自己力量的地方和部门进军，向生产的深度和广度进军，替自己创造日益增多的福利事业。

要使全体干部和全体人民经常想到我国是一个社会主义的大国，但又是一个经济落后的穷国，这是一个很大的矛盾。要使我国富强起来，需要几十年艰苦奋斗的时间，其中包括执行厉行节约、反对浪费这样一个勤俭建国的方针。

毛主席语录

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

我们必须向一切内行的人们（不管什么人）学经济工作。拜他们做老师，恭恭敬敬地学，老老实实地学。不懂就是不懂，不要装懂。

学习的敌人是自己的满足，要认真学习一点东西，必须从不自满开始。对自己，“学而不厌”，对人家，“诲人不倦”，我们应取这种态度。

目 录

前言	7
一、概述	9
1-1 硅材料在半导体器件制造中的重要地位	9
1-2 半导体硅材料的制备方法	12
1-3 III-V 族化合物半导体简介	17
1-4 半导体材料硅的晶格结构	21
1-5 标志硅单晶的质量的主要参数	26
二、多晶硅生产工艺	30
2-1 多晶硅生产工艺概述	30
1. 多晶硅的主要性质和用途	30
2. 多晶硅制备方法简介	32
3. 生产工艺的改进	41
2-2 四氯化硅和三氯氢硅氢还原法生产多晶硅的工艺过程	42
1. 四氯化硅与三氯氢硅的合成	43
2. 四氯化硅与三氯氢硅的提纯	47
3. 氢气净化	57
4. 氢还原	64
5. 综合利用	81
2-3 硅烷热分解法制取多晶硅	83
1. 硅化镁的合成	84
2. 硅烷气体的制备	85
3. 硅烷气体的提纯	86
4. 硅烷气体的热分解	87
2-4 多晶硅的质量要求及其纯度分析	89
1. 质量要求	89
2. 纯度分析	90
三、硅单晶的控制	94

3-1 直拉法生长硅单晶的原理和条件	94
1. 结晶原理的一般介绍	94
2. 热系统结构及其对硅单晶生长的影响	97
3-2 单晶炉设备简介	107
1. 机械设备	108
2. 真空系统及密封装置	114
3. 单晶炉电气设备	117
3-3 拉晶前的准备工作	129
1. 籽晶的制备	129
2. 清洁处理	130
3-4 直拉法生长硅单晶的工艺流程	132
1. 装炉	133
2. 加温熔化	135
3. 拉晶过程	136
4. 温度控制	142
3-5 熔硅时经常出现的问题	144
1. 产生搭桥和硅跳的原因	144
2. 出现硅跳前的几种主要情形的处理	146
3-6 合金的制备	148
1. n型硅磷合金的控制	149
2. p型硅硼合金的控制	151
3-7 杂质在硅中的行为	152
1. 杂质在硅单晶中的电学性质	153
2. 杂质在硅中的溶解度	153
3. 分凝效应	154
4. 蒸发效应	157
3-8 硅单晶电阻率的控制	158
1. 硅单晶的导电类型的控制	158
2. 器件对硅单晶电阻率的要求	159
3. 影响单晶电阻率的一些因素	160
4. 单晶电阻率的掺杂计算	162
5. 影响电阻率均匀性的因素及控制方法	167
3-9 提高重掺锑单晶成品率问题的讨论	173

3-10	氩气、低真空和高真空拉晶的比较	180
1.	硅的熔化	181
2.	电阻率的控制	181
3.	成品率	182
4.	拉晶的设备	182
3-11	硅单晶中位错的控制	182
1.	位错的概貌	183
2.	位错对单晶性能的影响	189
3.	在硅单晶生长中产生位错的原因	191
4.	减少位错的一些方法	194
四、	悬浮真空区熔法生长硅单晶	199
4-1	硅的悬浮真空区熔过程	203
4-2	怎样获得单晶	218
4-3	如何控制单晶的质量	221
五、	砷化镓单晶的制备	243
5-1	概述	243
5-2	水平区域熔炼法	250
5-3	沾污问题	269
六、	硅单晶参数的测试	275
6-1	单晶体的检验	275
1.	简单的外观检验	275
2.	晶体方向的测量	277
6-2	导电类型的测量	282
6-3	电阻率测量	285
1.	直流四探针法电阻率测量	286
2.	直流两探针法电阻率的测量	299
3.	高频无接触法电阻率的测量	300
6-4	非平衡少数载流子寿命测量	304
1.	双脉冲法	308
2.	直流光电导衰退法	317
3.	高频光电导法	323

6

6-5 位错的观察	327
6-6 霍尔效应的简单介绍	335
附录一 锗、硅、砷化镓的一般性质	344
附录二 锗、硅、砷化镓的半导体性质	345
附录三 锗、硅中的杂质	346
附录四 杂质在砷化镓中的电学类型及有效分凝系数	349
附录五 锗、硅单晶掺杂极限	350
附录六 锗和硅中的杂质扩散系数值	351
附录七 拉制单晶的一些辅助材料	352
附录八 某些物质的熔点和沸点	353
附录九 (一)获得低温的常用方法	354
(二)硅中杂质浓度和电阻率关系曲线(300°K)	355
附录十 热电偶种类及使用的温度范围	356
附录十一 常用物理常数	357
附录十二 元素周期表	359

73.672

半导体器件制造技术丛书 2¹⁵²

硅 材 料 制 备

《半导体器件制造技术丛书》编写组 编

国防工业出版社

1972

内 容 简 介

本书系《半导体器件制造技术丛书》之二。介绍了多晶硅和单晶硅的常用生产工艺和产品质量的检验方法，并对生产中经常出现的问题进行了讨论。此外还介绍了一种性能更为优越的半导体材料——砷化镓的单晶制备方法。

本书浅显易懂，工艺性强，并同时进行了适当的理论分析，可供从事半导体材料生产的工人、革命干部和革命技术人员以及有关院校革命师生参考。

半导体器件制造技术丛书 2

硅 材 料 制 备

(只限国内发行)

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 11¹/₂ 239 千字

1972 年 5 月第一版 1972 年 5 月第一次印刷

统一书号：15034·1254 定价：0.95 元

目 录

前言	7
一、概述	9
1-1 硅材料在半导体器件制造中的重要地位	9
1-2 半导体硅材料的制备方法	12
1-3 III-V 族化合物半导体简介	17
1-4 半导体材料硅的晶格结构	21
1-5 标志硅单晶的质量的主要参数	26
二、多晶硅生产工艺	30
2-1 多晶硅生产工艺概述	30
1. 多晶硅的主要性质和用途	30
2. 多晶硅制备方法简介	32
3. 生产工艺的改进	41
2-2 四氯化硅和三氯氢硅氢还原法生产多晶硅的工艺流程	42
1. 四氯化硅与三氯氢硅的合成	43
2. 四氯化硅与三氯氢硅的提纯	47
3. 氢气净化	57
4. 氢还原	64
5. 综合利用	81
2-3 硅烷热分解法制取多晶硅	83
1. 硅化镁的合成	84
2. 硅烷气体的制备	85
3. 硅烷气体的提纯	86
4. 硅烷气体的热分解	87
2-4 多晶硅的质量要求及其纯度分析	89
1. 质量要求	89
2. 纯度分析	90
三、硅单晶的拉制	94

3-1	直拉法生长硅单晶的原理和条件	94
1.	结晶原理的一般介绍	94
2.	热系统结构及其对硅单晶生长的影响	97
3-2	单晶炉设备简介	107
1.	机械设备	108
2.	真空系统及密封装置	114
3.	单晶炉电气设备	117
3-3	拉晶前的准备工作	129
1.	籽晶的制备	129
2.	清洁处理	130
3-4	直拉法生长硅单晶的工艺流程	132
1.	装炉	133
2.	加温熔化	135
3.	拉晶过程	136
4.	温度控制	142
3-5	熔硅时经常出现的问题	144
1.	产生搭桥和硅跳的原因	144
2.	出现硅跳前的几种主要情形的处理	146
3-6	合金的制备	148
1.	n型硅磷合金的控制	149
2.	p型硅硼合金的控制	151
3-7	杂质在硅中的行为	152
1.	杂质在硅单晶中的电学性质	153
2.	杂质在硅中的溶解度	153
3.	分凝效应	154
4.	蒸发效应	157
3-8	硅单晶电阻率的控制	158
1.	硅单晶的导电类型的控制	158
2.	器件对硅单晶电阻率的要求	159
3.	影响单晶电阻率的一些因素	160
4.	单晶电阻率的掺杂计算	162
5.	影响电阻率均匀性的因素及控制方法	167
3-9	提高重掺铽单晶成品率问题的讨论	173

3-10 氩气、低真空和高真空拉晶的比较	180
1. 硅的熔化	181
2. 电阻率的控制	181
3. 成品率	182
4. 拉晶的设备	182
3-11 硅单晶中位错的控制	182
1. 位错的概貌	183
2. 位错对单晶性能的影响	189
3. 在硅单晶生长中产生位错的原因	191
4. 减少位错的一些方法	194
四、悬浮真空区熔法生长硅单晶	199
4-1 硅的悬浮真空区熔过程	203
4-2 怎样获得单晶	218
4-3 如何控制单晶的质量	221
五、砷化镓单晶的制备	243
5-1 概述	243
5-2 水平区域熔炼法	250
5-3 沾污问题	269
六、硅单晶参数的测试	275
6-1 单晶体的检验	275
1. 简单的外观检验	275
2. 晶体方向的测量	277
6-2 导电类型的测量	282
6-3 电阻率测量	285
1. 直流四探针法电阻率测量	286
2. 直流两探针法电阻率的测量	299
3. 高频无接触法电阻率的测量	300
6-4 非平衡少数载流子寿命测量	304
1. 双脉冲法	308
2. 直流光电导衰退法	317
3. 高频光电导法	323

6

6-5 位错的观察	327
6-6 霍尔效应的简单介绍	335
附录一 锗、硅、砷化镓的一般性质	344
附录二 锗、硅、砷化镓的半导体性质	345
附录三 锗、硅中的杂质	346
附录四 杂质在砷化镓中的电学类型及有效分凝系数	349
附录五 锗、硅单晶掺杂极限	350
附录六 锗和硅中的杂质扩散系数值	351
附录七 拉制单晶的一些辅助材料	352
附录八 某些物质的熔点和沸点	353
附录九 (一)获得低温的常用方法	354
(二)硅中杂质浓度和电阻率关系曲线(300°K)	355
附录十 热电偶种类及使用的温度范围	356
附录十一 常用物理常数	357
附录十二 元素周期表	359

前 言

革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。

史无前例的无产阶级文化大革命，极大地激发了亿万革命群众的革命积极性，有力地推动了我国社会主义建设事业的飞速发展。奋战在电子工业战线上的广大工人、革命干部和革命技术人员，高举“鞍钢宪法”的旗帜，狠批叛徒、内奸、工贼刘少奇一类政治骗子所贩卖的“洋奴哲学”、“爬行主义”、“唯生产力论”等反革命修正主义黑货，坚持毛主席“自力更生”、“艰苦奋斗”的伟大方针，大搞技术革新和技术革命的群众运动。新材料、新工艺、新产品不断涌现，革命轰轰烈烈，生产蒸蒸日上，形势一派大好。

为了适应这种大好形势，遵照毛主席关于“**要认真总结经验**”的教导，在有关领导部门和厂、所、院校的大力支持下，我们组成了以工人为主体，有革命干部和革命技术人员参加的“三结合”编写组，坚持以生产第一线为编写现场，编写了这套《半导体器件制造技术丛书》。

本丛书按照硅平面器件和半导体集成电路制造工艺分为十二册：《硅平面器件工艺基础》、《硅材料制备》、《衬底制备》、《外延生长技术》、《氧化技术》、《扩散技术》、《隔离技术》、《制版技术》、《光刻技术》、《引线封装》、《测试》和《化学清洗》等。内容着重介绍了国内目前普遍采用的工艺方法和某些先进经验，并对各工艺技术的基本原理及生产过程中常出现的质量问题，作了简要的介绍和分析；

在叙述上，力求以浅显易懂的物理概念和图表说明问题，尽量避免了繁杂的数学推导。

本丛书在编写过程中，曾得到有关单位党委、革委会以及广大革命群众的大力支持和协助，在此，谨表示感谢。

由于我们学习马克思主义、列宁主义、毛泽东思想不够，业务水平有限，本丛书缺点和错误在所难免，望同志们提出批评指正，以便再版时修订。