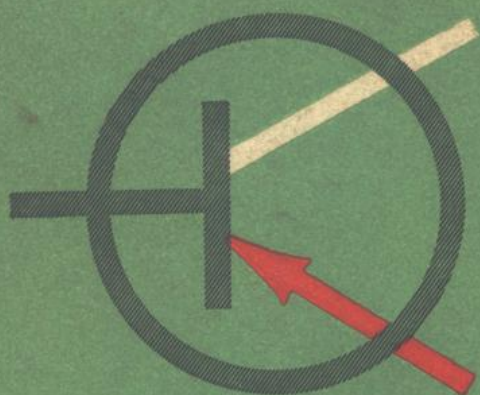




华中工学院《半导体电路基础》编写小组

半导体电路基础

中国工业出版社

半导体电路基础

华中工学院《半导体电路基础》编写小组 編

中国工业出版社

半导体电路基础

华中工学院《半导体电路基础》编写小组 编

只限国内发行

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所编辑（北京灯市口74号）

中国工业出版社出版（北京四新路36号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092\frac{1}{16}$ ·印张 $17\frac{5}{8}$ ·字数395,000

1970年10月北京第一版·1970年10月北京第一次印刷

印数00,001--75,675·定价（科四）1.80元

*

统一书号：15165·4613（冶金-693）

毛主席语录

我們也要搞人造卫星。

大学还是要办的,我这里主要說的是理工科大学还要办,但学制要縮短,教育要革命,要无产阶级政治挂帅,走上海机床厂从工人中培养技术人員的道路。要从有实践經驗的工人农民中間选拔学生,到学校学几年以后,又回到生产实践中去。

我們一定要有无产阶级的雄心壮志,敢于走前人没有走过的道路,敢于攀登前人没有攀登过的高峰。

出 版 說 明

“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以极其雄伟的力量，推动着我国社会主义建设迅速发展。各条战线上出现了欣欣向荣、蒸蒸日上的社会主义革命竞赛的热潮，一场大搞电子技术革命和技术革新的群众运动也随之兴起，呈现一派动人的大跃进形势。为满足当前工农业大跃进和上层建筑斗、批、改的急需，多快好省地为无产阶级政治服务，为社会主义建设服务，为工农兵服务，我们征得华中工学院革委会的同意，并在他们大力支持和协助下，把他们编写的《半导体电路基础》一书出版了。

本书是该院广大革命师生在毛主席无产阶级教育路线的指引下，在驻院工人、解放军毛泽东思想宣传队的具体领导下，破除对洋人，资产阶级专家、教授的迷信，摆脱修正主义教育路线的束缚，敢想敢干，集体编写的试用教材。

本书是该院在无产阶级文化大革命后编写的新教材，初稿曾内部油印过数千册，但远远满足不了全国广大读者的急需。为使本书能进一步得到充实、完善，这次出版作为内部发行，以借此机会更广泛地得到工农兵对本试用教材提出宝贵的批评意见。

由于我们活学活用毛主席著作不够，水平有限，书中缺点错误难免，望革命同志批评指正。

一九七〇年七月

前 言

我們伟大领袖毛主席亲自发动和领导的史无前例的无产阶级文化大革命取得了极其伟大的胜利。全国人民正高举党的“九大”团结、胜利的旗帜，为实现“九大”提出的各项战斗任务而英勇奋战。特别是工人阶级登上上层建筑斗、批、改的政治舞台，有力地推动了教育革命的深入发展，一场无产阶级占领教育阵地的战斗打响了！

“资产阶级知识分子统治我們学校的现象，再也不能继续下去了。”毛主席指示我照办，毛主席挥手我前进！我們华中工学院革命师生在毛主席光辉思想的指引下，在驻院工人、解放军毛泽东思想宣传队具体领导下，雷厉风行，紧跟毛主席伟大战略部署，掀起了教育革命的高潮，坚决改革旧的教育制度和办法，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。

在贯彻落实毛主席一系列光辉指示中，全院革命师生员工发扬了敢想、敢说、敢干的精神，提出了许多教学改革方案，同时也进行了大胆的尝试。共同感到，教育革命中教材问题是一个十分严重的问题，旧教材是资产阶级知识分子统治我們学校的一种工具，它塞满了“洋奴哲学”、“爬行主义”等封、资、修黑货，把无产阶级的教育阵地变成了叛徒、内奸、工贼刘少奇复辟资本主义的舆论场所，是可忍，孰不可忍！坚决打倒刘少奇！

毛主席教导我們：“我們能够学会我們原来不懂的东西。我們不但善于破坏一个旧世界，我們还将善于建設一个新世界。”在毛泽东思想光辉指引下，在轰轰烈烈的教育革命热潮的推动下，全院革命师生员工决心奋起毛泽东思想千钧棒，彻底砸烂刘少奇反革命修正主义教育路线的枷锁，冲破洋框框、洋教条的束缚，废除旧教材，创立新教材，来适应教育革命和教学改革的需要。《半导体电路基础》编写小组就是在这种形势下，由“自动控制”专业、“工企”专业部分革命师生，及“电工学及工业电子学”教研室部分革命教师组织起来的。在编写本教材过程中，我們努力学习毛主席著作，力求用毛泽东思想统帅我們的工作，在驻院工人、解放军毛泽东思想宣传队的领导和全院师生员工的大力支持下，克服重重困难和阻力，终于把这本试用教材编写出来了。从1968年开始试用，在近两年的试用中，我們收到了许多工人师傅、生产设计单位及兄弟院校的来信。給我們提出了宝贵的意见，同时也給我們很大的鼓舞和鞭策，在此表示衷心感谢！

这本教材的编写只是教学改革中的初步尝试，难免存在许多缺点和不足之处，特别是突出毛泽东思想还很不够，急待进一步修改、充实、完善。恳切希望广大读者（特别是工农兵）给予批评指正。

編 者

1970年6月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 半导体放大电路

第一章 半导体的基本知识	3
1.1 半导体的结构及导电性能	3
1.1.1 半导体的结构及空穴的形成	3
1.1.2 半导体的导电性能	4
1.1.3 N 型半导体和 P 型半导体	5
1.2 $P-N$ 结的形成及其单向导电性	5
1.2.1 $P-N$ 结的形成	5
1.2.2 $P-N$ 结的单向导电性	6
1.3 半导体二极管的伏安特性	6
1.4 半导体二极管的构造和类型	8
1.4.1 点接触型二极管	8
1.4.2 面结合型二极管	8
1.5 半导体二极管的定额和使用特点	9
第二章 面结合型半导体三极管的放大作用及特性曲线	11
2.1 半导体三极管各电极的电流分配关系及放大原理	11
2.1.1 一个奇妙的物理现象	12
2.1.2 半导体三极管的构造及基本性能	12
2.1.3 各电极电流分配关系及放大电路	14
2.2 半导体三极管的三种接法及静态特性曲线	17
2.2.1 半导体三极管的三种接法	17
2.2.2 半导体三极管的静态特性曲线	18
2.3 半导体三极管的定额和使用特点	20
2.4 如何认识半导体管	22
本章小结	26
第三章 半导体低频放大器的基本分析方法	28
3.1 共发射极基本放大电路说明	28
3.2 基本放大电路的图解	29
3.2.1 静态工作点的图解	29
3.2.2 动态工作情况图解	30
3.3 基本放大电路的微变等效电路分析	31
3.3.1 从网络理论引出的微变参数及等效电路	32
3.3.2 低频 h 参数的求法	37
3.3.3 h 参数与工作条件的关系	41
3.3.4 利用微变等效电路分析放大器的性能	43
本章小结	50

第四章 ρ 直流偏置电路及工作点的稳定	51
4.1 问题的提出	51
4.2 提高工作点稳定性的措施	53
4.2.1 具有电压负反馈的偏置稳定电路	54
4.2.2 具有电流负反馈的偏置稳定电路	54
4.2.3 综合偏置稳定电路	57
4.3 非线性补偿	57
本章小结	59
第五章 前置多级放大器	60
5.1 概述	60
5.2 阻容耦合多级放大器	61
5.2.1 电路说明	61
5.2.2 单级阻容耦合放大器的特性分析	61
5.2.3 多级阻容耦合放大器的分析计算	68
5.3 变压器耦合放大器	69
5.4 半导体放大器中的反馈	72
5.4.1 射极输出器	72
5.4.2 反馈的基本概念	75
5.4.3 反馈放大器的分析方法	77
5.4.4 负反馈的应用	82
5.5 在自动控制系统中半导体交流前置放大器的工作特点	85
5.6 多级放大器存在的问题——放大器中的干扰噪声和自激问题	86
5.6.1 放大器中干扰的来源及消除方法	87
5.6.2 放大器中产生自激的原因和消除方法	88
5.6.3 干扰自激的识别与排除	89
5.6.4 放大器中的噪声	91
5.7 前置级放大器的设计	92
5.7.1 引言	92
5.7.2 设计的一般考虑	92
第六章 直流放大器	98
6.1 直流放大器的特殊问题	98
6.2 减少直流放大器中零点漂移的补偿方法	99
6.2.1 相互补偿电路	99
6.2.2 非线性元件补偿电路	100
6.3 并联平衡补偿直流放大器	101
6.4 差值放大器	103
6.5 并联平衡补偿直流放大器的实际电路	104
本章小结	105
第七章 半导体功率放大器	106
7.1 引言	106
7.2 单边甲类功率放大器的设计	107
7.3 推挽功率放大器的设计	113
7.4 输出级的特殊电路	117

7.5 末前级放大器——倒相电路	118
第八章 相敏整流—放大器	121
8.1 问题的提出	121
8.2 工业中常用的调制系统	122
8.3 相敏整流器	123
8.3.1 半导体二极管相敏整流器	125
8.3.2 半导体三极管相敏放大器	128
8.3.3 相敏放大器的计算	132
8.4 相敏放大器应用举例	137

第二篇 半导体正弦波振荡器

第九章 LC 振荡器	139
9.1 LC 振荡器的典型电路	139
9.2 自激振荡的条件	141
9.3 振荡的建立与稳定	141
9.4 LC 振荡器的实际电路	142
9.4.1 电感三端式振荡器	142
9.4.2 电容三端式振荡器	143
9.5 LC 振荡器的频率稳定问题——晶体振荡器的应用	143
9.6 LC 振荡器的应用	144
本章小结	147
第十章 RC 振荡器	148
10.1 典型的 RC 振荡器	148
10.1.1 RC 网络的选频特性	148
10.1.2 典型的 RC 振荡器电路	149
10.1.3 稳幅措施——负反馈的应用	150
10.2 单管移相式 RC 振荡器	150

第三篇 半导体脉冲电路

概述	152
第十一章 脉冲电路的基本概念	153
11.1 典型脉冲波形和参数	153
11.2 RC 电路的过渡过程	154
11.3 半导体三极管的开关性能及暂态响应	155
11.3.1 半导体三极管的开关性能	155
11.3.2 半导体管在大幅度脉冲输入时的导电情况	157
第十二章 脉冲波形的变换	161
12.1 微分电路	161
12.2 限幅器	162
12.2.1 二极管限幅器	162
12.2.2 三极管限幅器	164
12.3 箝位器	165

第十三章 双稳态触发器	167
13.1 外偏压双稳态触发器	167
13.1.1 电路说明	167
13.1.2 工作原理	168
13.1.3 双稳态触发器的触发方式	171
13.1.4 双稳态触发器的设计计算	173
13.2 自偏压双稳态触发器	174
13.3 施密特触发器	175
本章小结	176
第十四章 单稳态触发器	178
14.1 典型电路	179
14.2 射极耦合单稳态触发器的工作原理	179
14.2.1 静态稳定情况	179
14.2.2 触发翻转情况	180
14.2.3 自动返回情况	181
14.3 射极耦合单稳态触发器的输出计算	181
本章小结	183
第十五章 多谐振荡器	184
15.1 多谐振荡器的典型电路	184
15.1.1 电路说明	184
15.1.2 工作原理	185
15.1.3 振荡幅度和振荡频率	187
15.1.4 多谐振荡器的设计	188
15.2 多谐振荡器的同步	189
15.3 一种新型的自激多谐振荡器——串联的自激多谐振荡器	190
本章小结	192
第十六章 锯齿波产生器	193
16.1 锯齿波产生器电路的工作原理	193
16.2 锯齿波的同步(整步)	195
16.3 触发扫描锯齿波产生器	197
第十七章 逻辑电路与脉冲电路的应用	199
17.1 门电路(逻辑电路)	199
17.1.1 或门	199
17.1.2 与门	199
17.1.3 或元件	200
17.1.4 与/与——否元件	201
17.2 计数器	202
17.2.1 十进计数器	202
17.2.2 环形计数器	204
17.2.3 计数器的应用	207
17.3 半导体转速表	207
17.4 步进电机控制器	209
17.4.1 步进电机	209

17.4.2 步进电机的控制线路	210
本章小结	212
第四篇 半导体直流电源	
第十八章 不控整流电源	213
18.1 具有纯电阻负载的单相整流电路	213
18.1.1 单相半波整流电路	213
18.1.2 单相桥式整流电路	215
18.1.3 单相全波整流电路	216
18.2 带滤波器的半导体整流电路	217
18.2.1 带电容滤波器的整流电路	217
18.2.2 带 Γ 形和 π 形滤波器的整流电路	219
18.2.3 整流滤波电路的工程估算	222
18.3 多相不控整流器	223
18.3.1 三相半波整流电路	223
18.3.2 三相桥式整流电路	224
18.3.3 多相整流电路的比较	226
第十九章 半导体直流稳压器	227
19.1 硅二极管(齐纳二极管)稳压电路	227
19.2 串联式半导体三极管稳压电路	229
19.2.1 稳压电路及稳压原理	229
19.2.2 过载保护电路	230
19.2.3 串联式半导体稳压器的设计	231
19.2.4 实际的半导体直流稳压器举例	238
第二十章 可控整流电源	240
20.1 概述	240
20.2 可控硅元件的结构、性能及参数	241
20.2.1 可控硅元件的构造	241
20.2.2 伏安特性及工作原理	242
20.2.3 主要参数	244
20.3 导通控制电路及保护电路	244
20.3.1 导通控制电路	244
20.3.2 保护电路	248
20.4 可控硅整流器的应用	249
20.4.1 在直流电气传动中的应用	249
20.4.2 在励磁调节系统中的应用	251
20.4.3 可控硅开关	253
附录一 半导体实用电路举例	255
(一) 海棠 TR401 型半导体来复再生式收音机	255
(二) 号筒式半导体扩音机	256
附录二 微电子学简介	259
(一) 微电子学的分类	259
(二) 几种微电子学电路简介	260

附录三 常用半导体电路图符号	263
附表:	
1.1 几种常用国产半导体二极管的特性	9
2.1 半导体三极管中的近似电路分配关系	15
2.2 国产半导体器件型号命名法	22
2.3 β 值的色标	23
2.4 一些常用国产半导体管的参数、用途和电极位置	27
3.1 各种接法的 h 参数转换表	35
5.1 三种基本反馈放大器的一些特点	81
5.2 三种接法的放大级性能比较表	93
18.1 整流器的比较	226
19.1 国产稳压管型号和参数	239
20.1 几种国产可控硅元件的型号及参数	244
本书采用符号说明	264
参考书目	267

緒 論

自1958年以来，在我們伟大领袖毛主席提出的**鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义**总路线的指引下，在毛主席“**自力更生**”、“**奋发图强**”赶超世界先进科学技术水平的伟大号召下，我国电子工业和半导体工业得到了很大的发展。特别是我国第一颗人造地球卫星发射成功，歌颂伟大领袖毛主席的《东方红》乐曲响彻全球，实现了毛主席提出的“**我們也要搞人造卫星**”的伟大号召。这次卫星发射成功，是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利！是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利！是无产阶级文化大革命的丰硕成果！是我国发展空间技术的一个良好开端。它标志着我国电子工业和半导体工业豪迈地跨入了世界先进行列。

半导体器件的出现是电子学领域的一次革命，它对我国工业、农业、国防现代化有着重大的意义。許多电子仪器和控制设备，随着“全半导体化”、“全固体化”的高速进展，在各个领域已得到广泛应用，如集成电路的出现就有力地促进了电子计算机等技术的飞跃发展。事实证明：只要我們坚定不移地走毛主席指引的“**独立自主、自力更生**”的道路，以奋发图强的革命精神，破除迷信，大搞群众运动，我們就能在电子技术领域攀登前人还未能攀登的高峰，一场以毛泽东思想为统帅的电子技术革命和技术革新的群众运动已蓬勃兴起，让我們高举“**鞍钢宪法**”的伟大红旗，进一步掀起“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”的革命高潮，在为伟大领袖毛主席争光，为社会主义祖国争光的斗争中作出新贡献！

“**人們为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。**”要从电子技术领域得到自由，就必须以敢于革命的精神，善于革命的科学态度，寻求它的特性，探索它的规律，从而掌握它，运用它，使它为无产阶级政治服务。

半导体管是一种固体器件。在第二次世界大战前无线电通讯中所采用的晶体检波器，实际上是一种半导体器件，但到1926~1930年才制成氧化亚铜整流器，并发现了晶体检波具有优异的高频特性，适合于在雷达技术中运用，这样就促使了人們对于半导体的研究。第二次世界大战以后，开始研究晶体检波器的内部物理过程，发现了经过特殊处理的**鍺**、**硅**制成的检波器有良好的性能，以后就制了**鍺**硅微波二极管，开始用来代替小功率真空二极管。1947年提出了 $P-N$ 结理论；1948年制成了点接触型半导体三极管，随后又解决了**鍺**和**硅**冶炼和提纯的一系列问题，并发现了許多种制造半导体管的方法；1951年用合金法制成了面结合型半导体三极管；1956年用扩散法制成了扩散型半导体三极管。由于扩散深度可以控制，这就使半导体管的使用频率大大提高，用扩散法制成的半导体三极管的截止频率已达几百甚至几千兆周，初步解决了半导体管的高频运用问题，使半导体管向更加广泛地代替电子管的方向前进了一步。

由于近代技术的发展，迫切需要大量的微波器件和毫微秒脉冲器件。1957年提出了可利用 $P-N$ 结电容随外加电压变化的非线性而制成的参量放大器理论，现在已成功地制成了这类器件，其工作频率已达十万兆周。1958年制成了可以工作在两毫微秒数量下的隧道二极管。在二十世纪五十年代已出现了**PNPN**四层半导体管。到1964年为止，这种器件

的反峰电压已达1300伏，电流可达 500 安培，它广泛用于大功率整流，在电机励磁系统中它有可能完全取代目前的励磁机。

半导体技术发展如此迅猛，主要是由于近代尖端技术、军事和生产上的迫切需要，以及它具有一系列独特的优点：如体积小，重量轻，寿命长(可达十万小时)，不需要灯丝加热，功率损耗小，工作电压低，机械性能好，适用范围广泛等等。在电子计算机中，由于采用半导体管集成电路，不但体积大大缩小，而且性能稳定，使用寿命增长。在军事通讯设备中发讯机的体积可缩至火柴盒一样大小。其优点在其它电子设备和自控仪等方面也得到广泛应用。

但是，事物总是“一分为二”的，半导体器件目前亦尚存在不足之处，如在高频大功率方面，还不如电子管，噪声比较大；温度的变化对半导体管的特性影响较大等等。

本书主要论述工业中常用的半导体电路工作原理。适当地剖析了一些典型电路，列举了一些应用实例。本书共分四篇：第一篇：半导体放大电路；第二篇：半导体正弦波振荡器；第三篇：半导体脉冲电路；第四篇：半导体电源设备。在叙述原理和分析电路中对数学处理方面尽量避免烦杂的数学推导及费解的词句，大多局限在能说明问题为止。

第一篇 半导体放大电路

毛主席语录

我們看事情必須要看它的实质，而把它的現象只看作入門的向导，一进了門就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。

第一章 半导体的基本知識

引言

本章內容是半导体的基本知识。首先介绍半导体的结构，然后研究 $P-N$ 结的形成及其单向导电性能。此外还介绍了半导体二极管的伏安特性和使用常识，并列出一一些图表供使用时参考。

通过本章学习，读者必须掌握 $P-N$ 结及其单向导电性的本质，因为它是半导体管最基本的组成部分，研究半导体二极管、三极管、多极管和半导体电路，必须以关于 $P-N$ 结的认识为基础。

本章的基本技能是半导体二极管的使用，半导体二极管用得很广泛，可作整流、检波、混频及开关。通过对二极管的研究，掌握它的使用方法，使我們能够在实际工作中灵活运用。

1.1 半导体的結構及导电性能

1.1.1 半导体的結構及空穴的形成

半导体是一种晶体，它的原子外层的价电子构成共价键，组成排列整齐的晶体点阵，使价电子处于稳定状态，不能自由运动。例如锗(Ge)的晶体结构如图 1.1，锗原子最外层轨道上有四个价电子，在锗晶体中，每个锗原子的价电子与相邻原子的价电子构成共价键，处于互相束缚状态，组成排列整齐的晶体点阵。晶格完整（不含杂质）的半导体叫本征半导体。在绝对零度（ -273°C ）时，本征半导体沒有自由电子，此时半导体为绝缘体。事实上，晶体点阵总存在热运动，总会有部分共价键被破坏，使少量价电子摆脱了束缚状态，形成自由电子，同时在原来共价键的位置上就留下一个能拘留电子的空位，称之空穴（如

图1.2)。在本征半导体中，有一个自由电子就必然有一个空穴，这样就形成了电子——空穴对。

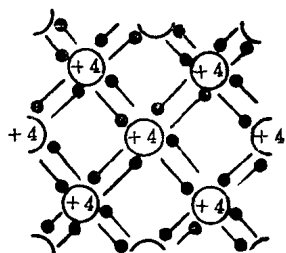


图 1.1 锗的晶体结构

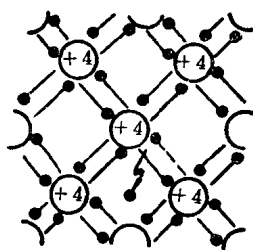


图 1.2 空穴的形成

1.1.2 半导体的导电性能

物质的导电性能可用电阻率来表示。导体的电阻率很小（约为 $10^{-6} \sim 10^{-3} \Omega \cdot cm$ ）；绝缘体的电阻率很大（约为 $10^8 \sim 10^{20} \Omega \cdot cm$ ）；而半导体的电阻率则介于导体和绝缘体之间（约为 $10^{-3} \sim 10^8 \Omega \cdot cm$ ）。

导体和绝缘体的电阻率随温度的变化很小。而半导体的电阻率随温度的变化却很大，当温度升高 $1^\circ C$ 时，它的电阻率要下降百分之几到百分之几十，这是由于晶体中的束缚电子受热激发获得足够的能量，而摆脱了束缚状态的缘故。

半导体的导电性能也受光的影响，光线的照射使它的束缚电子获得能量，摆脱束缚状态，故使电阻率降低。

半导体中若掺进杂质，对它的电阻率影响很大。金属中含千分之一的杂质，电阻率的变化是微不足道的，而半导体中含千万分之一的杂质，电阻率就会下降到原来的 $\frac{1}{16}$ 。

导体和半导体都可以导电，但由于它们的本质不同，因此对各种外界条件的反应也不同。导体对外界条件反应差，而半导体对外界条件的反应很敏感。毛主席说：“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”半导体对外界条件反应敏感的特性是由半导体本身决定的。

本征半导体在外电场作用下，自由电子将逆电力线方向运动，形成电流，这种由电子

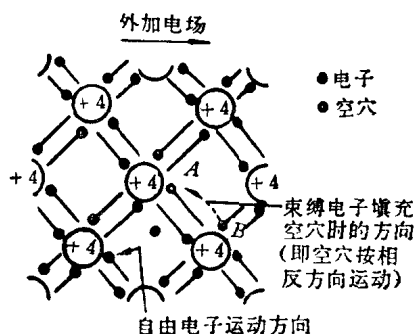


图 1.3 本征半导体中电子和空穴的导电

移动产生的电流称电子导电。同时，空穴附近的束缚电子在热能和电场的作用下，有可能脱离原来的共价键来填充空穴（图1.3），从图上看，电子由B处移到A处，相当于空穴由A处移到B处，从电流等效的角度来看，可以认为束缚电子的运动是带有和束缚电子电量相等而符号相反的正电荷微粒——空穴沿着束缚电子相反方向的运动。为了和自由电子的运动加以区别，我们就把束缚电子的运动（由一个束缚状态转到另一个束缚状态）称为空穴运动，而把空穴导电看成是正电荷微粒在半导体中的运动。

从以上分析看来,在外加电场作用下,本征半导体中同时存在着两种导电现象——电子导电和空穴导电,而流过半导体中的总电流为电子电流和空穴电流的代数和。本征半导体在外加电场作用下所产生的导电现象叫本征导电。

1.1.3 N 型半导体和 P 型半导体

如果在本征半导体中掺入微量的杂质,晶体点阵中有些原子的位置就被杂质的原子所取代,合适地加入不同的元素,可以使掺有杂质的半导体的自由电子占多数或空穴占多数。例如在本征半导体锗中掺入微量的五价元素砷(As)(图1.4a),砷的五个价电子中有四个价电子与四价的锗原子形成共价键,并剩下一个多余的砷电子。这种半导体中主要是电子导电,所以称电子为多数载流子。虽然锗原子本征激发还会形成电子——空穴对,但整个来讲,能参加导电的电子超过了空穴,故电子是多数载流子,空穴是少数载流子。这种半导体叫 N 型半导体或电子半导体,简化表示方式见图1.4b。在 N 型半导体中,砷是施给一个剩余电子而带正电的杂质,故称施主原子。

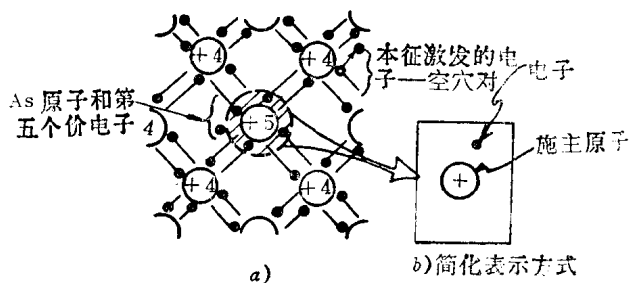


图 1.4 N 型半导体中的载流子

若在半导体锗中掺入微量的三价元素铟(In)(图1.5a)铟的三个价电子与相邻的锗原子形成共价键,在铟原子附近形成一个空穴。在这种情况下空穴是多数载流子而电子是少数载流子。这种半导体叫 P 型半导体或空穴型半导体,简化表示方式见图1.5b。在 P 型半导体中,铟能够产生空穴接受电子,故称受主原子。

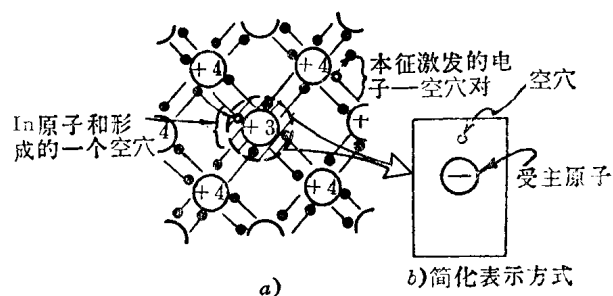


图 1.5 P 型半导体中的载流子

1.2 $P-N$ 结的形成及其单向导电性

1.2.1 $P-N$ 结的形成

$P-N$ 结是由扩散形成的。扩散就是物质从浓度大的地方向浓度小的地方跑,例如在一杯清水中滴入一滴墨水,能把一杯水染蓝,就是由于扩散的结果。

用图1.6a表示 P 型半导体和 N 型半导体的结构。若把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起,由于 P 区空穴浓度大于 N 区, N 区电子浓度大于 P 区,因此在交界处必然会产生载流子的扩散运动(如图1.6b)。载流子扩散的结果,使交界处的电子和空穴互相复合,靠 N 区的一边少了电子,剩下施主原子,形成正电荷的积累;而靠 P 区一边少了空穴,剩下受主原子,形成负电荷的积累(图1.6c),由于在交界面附近形成了正负电荷的积累,因而产生了一个静电位差(称位垒或势垒),极性是 N 区比 P 区高(图1.6d),它对多数载流子(P