

电工学

下册

电子技术

杜宇人 蒋中 刘国林 编著



科学出版社

电 工 学

下册

电 子 技 术

杜宇人 蒋 中 刘国林 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是电工学下册,内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、电力电子技术、组合逻辑电路、时序逻辑电路、波形产生和变换、半导体存储器、模拟量与数字量的转换电路、电子测试和实验等。本书采用国际电工词汇(IEV)和图形符号,每章选用的例题和实验大部分来自实际工程,有利于激发读者的学习兴趣,了解电工学在其他学科方面的应用。本书配套的电子教案内容丰富、直观生动,有助于读者在较短时间内理解并掌握书中内容。

本书概念准确、内容新颖、深入浅出、语言流畅、可读性强,既注重基本原理的讲解,又力求突出工程上的实用性。本书可作为高等院校非电类专业电工学(多学时)的教材,也可作为普通高等职业学校电类专业电工学的教材(标以“△”、“*”号的内容除外),还可供工程技术人员及备考注册电气工程师执业资格考试的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学.下册,电子技术/杜宇人,蒋中,刘国林编著. —北京:科学出版社,2011.6

ISBN 978-7-03-031731-5

I. ①电… II. ①杜…②蒋…③刘… III. ①电工学-高等学校-教材
②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第119699号

责任编辑:余江 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年6月第一次印刷 印张:22 3/4

印数:1—3 000 字数:536 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会 2004 年 8 月修订的“电工学教学基本要求”为基础,精选经典内容,适当增加新知识、新技术、新成果,强调电气设备和工程安全,力求使本书成为适应工程教育需要的电工学教材。本书主要特色如下。

1) 精选内容

本书主要介绍电工电子技术的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。在阐明物理概念和基本定律的前提下,采用工程近似方法进行计算,略去一些不必要的数学推导。例如,把变压器、电动机等作为一个元件,侧重讲它们的外特性。

2) 推陈出新

本书所讲述的内容,大多是近十年来国内外工程中广泛采用的新技术、新工艺、绿色的新材料和新设备等,力图反映 20 世纪 90 年代以来国内外工程界与学术界在电工学方面所取得的最新成果,学以致用。

(1) 20 世纪 50 年代,由于我国铜材紧张,变压器绕组用铝线,变压器原边大多采用星形连接。80 年代以来,变压器绕组用铜线,变压器原边大多采用三角形连接。90 年代以来,变压器导磁材料采用非晶合金,铁心无缝一次卷绕,芯柱呈圆形,磁路最短、磁阻涡流损耗最小,它的空载损耗值与同容量的硅钢片变压器相比,可降低 75%。而且配电变压器连接组别推荐采用 Dyn11,降低了三次及以上的高次谐波激磁电流。配电变压器嵌装传感器并加装智能终端,可实现远距离检测其参数。

(2) 异步电动机的启动和调速,除了介绍传统的降压启动方式(如 Y- Δ 换接、自耦变压器启动等)和变极调速外,还增加了变频调速(VVVF)等新技术。

(3) 随着电子技术、计算机技术、通信技术与传统电器多学科的交叉和融合,我国于 20 世纪 90 年代开始淘汰第一代低压电器产品,限制使用第二代产品,逐步采用第三代产品。第三代产品具有模块化、网络化和智能化的特点,直接与计算机组成监控系统。

(4) 用信息技术改造传统工业,推进机电一体化,提高信息采集、传输和利用的能力,是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。本书结合电工、电子设备和电气控制系统介绍数据通信、计算机网络、现场总线控制系统及 MODBUS 协议等基本知识。

(5) 反映近代电力电子技术的发展,如 IGBT 及变流电路等内容。

(6) 液晶显示器比其他显示器功耗低,无辐射、无闪烁,节能、环保。

(7) 电荷耦合器件(CCD)将 MOS 光敏单元阵列和读出移位寄存器集成为一体,构成具有自扫描功能的图像传感器,在检测装置中得到广泛应用。

(8) 非电量测试在现代工业中显得越来越重要,本书从系统的基本组成出发,介绍了传感器、信号处理和信号的输出等单元电路。

3) 强调安全

本书按照现行的国家标准规范和国际电工委员会(IEC)的有关标准,在制造电工和电子设备中,强调以人为本;在工程设计和施工中,应保证人身安全。

(1) 在多数场合,低配电系统采用中性点直接接地方式即 TN 系统,当控制回路发生接地

故障时,应避免保护和控制被大地短路,造成电动机意外启动或不能停车。因此,《通用用电设备配电设计规范》GB50055 规定,电动机一般在控制回路中应装隔离电器(用于安全检修)和短路保护电器。控制电压采用 220V,不宜采用 380V。电气控制图按工程施工图常规画法,让学生在学理论的同时能熟悉一些工程施工图。

(2) 在三相四线制供电系统中,中性线必须连接牢固,不允许单独串接熔断器或装断路器(开关)。

4) 突出应用

本书所选的例题和实验,大部分来自工程实践。这有助于读者阅读电工电子线路图,设计电工电子工程方案,绘制电工电子施工图,查阅电工产品手册(资料),掌握按照不同材料的性能指标和施工工艺进行施工的方法,熟练使用测试仪器仪表,提高学生的实际工作技能。

5) 学习基本理论和标准相结合

标准是衡量事物的准则。本书力求把现行的国家标准规范和 IEC 有关标准有机地结合到相应章节之中,帮助学生在学理论的同时,了解电工、电子领域的标准及应用,学会查阅这些标准,为继续学习与本专业有关的工程技术、从事与本专业有关的科学研究等打下一定的基础。

6) 以学生为中心

制作了配套的多媒体电子教案,把教师从技术基础课呆板的课堂教学中解放出来;帮助学生理解、消化理论知识,激发学生的学习积极性与创新意识。通过多媒体教学及实验,让师生有机地结合,做到教学互动,给技术基础课的教学注入新的活力。

本书适用于 32~64 学时的“电工学(电子技术)”课程。由于各专业对电工学的要求不同,为了使本书具有灵活性,将本书内容分为三类:

(1) 基本内容。为教学基本要求所规定的内容。基本教学计划为 32 学时。

(2) 非共同性基本内容(标以“△”号)。也是必不可少的,只是在教学要求上低于前者。视学时的多少和学生的实际情况由教师选讲。

(3) 参考内容(标以“*”号)。一般指加深加宽内容,可在教师指导下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授。

书中实验共 8 个,每个实验 3 学时,教师可视实际情况选做。

本书配有“学习辅导与习题解答”,可提供给选用本书做教材的教师。

本书由多年从事电工学教学的教师以及相关的科研人员、设计人员和施工人员集体讨论编写大纲,吸取了相关教材中好的编写经验。参加本书编写的人员有杜宇人、蒋中、金伟正、管旗、陈杰、刘红宇、钟小芳、刘祥宇、江庆、包世应、吴沛然、金焯等,全书由刘国林统稿。参加文字录入和部分绘图工作的有汪瑞玲、汪芮、刘国新。东华工程科技股份有限公司(化工部第三设计院)教授级高级工程师唐海洋等提出了许多中肯的修改意见,在此表示由衷的感谢。

本书的编写工作得到扬州大学出版基金和国家自然科学基金委十五重大项目(20299030)子课题、国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2007CB714501)子课题等科研项目的资助。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,殷切期望使用本书的读者批评指正。

作者

2011 年 5 月

目 录

下册 电子技术

第 13 章 半导体器件	1
13.1 半导体的导电特性	1
△13.1.1 本征半导体	1
△13.1.2 N型半导体和P型半导体	2
13.1.3 PN结及其单向导电性	3
13.2 二极管	5
13.2.1 普通二极管	5
13.2.2 稳压二极管	7
13.3 三极管	10
13.3.1 三极管的基本结构	11
13.3.2 三极管的工作原理	11
13.3.3 三极管的特性曲线	12
13.3.4 三极管的主要参数	14
△13.4 场效应晶体管	16
13.4.1 绝缘栅场效应管的基本结构	16
13.4.2 绝缘栅场效应管的基本工作原理	17
13.4.3 绝缘栅场效应管的特性曲线	17
13.4.4 场效应晶体管的主要参数	18
* 13.5 光电器件	20
13.5.1 光电二极管	20
13.5.2 光电耦合电路	22
13.5.3 光电晶体管	22
第 14 章 基本放大电路	24
14.1 共发射极放大电路	24
14.1.1 电路的基本结构	24
14.1.2 静态分析	25
14.1.3 动态分析	27
14.1.4 静态工作点的稳定	34
14.1.5 放大电路的频率响应	35
△14.2 共集电极放大电路	39
14.2.1 电路的基本结构	39
14.2.2 电路的静态分析	39
14.2.3 电路的动态分析	40

* 14.3	共基极放大电路	41
14.3.1	电路的基本结构	41
14.3.2	静态分析	42
14.3.3	动态分析	42
14.4	三极管基本放大电路的派生电路	44
△14.4.1	复合管的组成及其电流放大系数	44
* 14.4.2	复合管放大电路	44
△14.5	场效应管放大电路	45
14.5.1	电路的静态分析	45
14.5.2	电路的动态分析	46
△14.6	多级放大电路	49
14.6.1	多级放大电路耦合方式	50
14.6.2	多级放大电路分析	50
14.7	差分放大电路	52
14.7.1	电路的基本结构	52
14.7.2	电路分析	52
* 14.7.3	恒流源	54
14.8	功率放大电路	56
14.8.1	电路的工作状态	56
14.8.2	互补对称放大电路	57
△14.8.3	集成功率放大电路	58
第 15 章	集成运算放大电路	60
15.1	运算放大器的基本概念	60
15.1.1	运算放大器的组成	60
15.1.2	集成运算放大器的主要技术参数	61
15.1.3	集成运算放大器的分析方法	62
△15.1.4	集成运算放大器的典型电路	64
△15.2	放大电路的反馈	66
15.2.1	反馈的基本概念	67
15.2.2	电路反馈的判断	67
15.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	71
15.3	基本运算电路	77
15.3.1	比例运算电路	77
15.3.2	加法运算电路	79
15.3.3	减法运算电路	80
15.3.4	积分运算电路	81
△15.3.5	微分运算电路	83
15.4	电压比较电路	88
15.4.1	单限电压比较器	89
△15.4.2	滞回电压比较器	90

△15.5	有源滤波器	92
15.5.1	有源低通滤波器	92
15.5.2	有源高通滤波器	93
△15.6	使用运算放大器应注意的问题	95
15.6.1	选用元件	95
15.6.2	消振	95
15.6.3	调零	95
15.6.4	保护	95
第16章	直流稳压电源	97
16.1	整流电路	97
16.2	滤波电路	100
16.2.1	电容滤波电路	101
16.2.2	电感电容滤波电路	102
16.3	直流稳压电源	103
16.3.1	串联型直流稳压电路	103
△16.3.2	集成稳压器	104
*16.3.3	开关稳压电路	106
*16.3.4	直流稳压电路的指标	108
*16.4	同步整流	109
16.4.1	同步整流管	110
16.4.2	同步整流工作原理	110
第17章	电力电子技术	111
17.1	电力电子器件	111
17.1.1	晶闸管	111
△17.1.2	绝缘栅双极型晶体管	116
*17.1.3	功率模块	120
17.2	电力电子器件的驱动电路	121
17.2.1	晶闸管的触发电路	121
△17.2.2	绝缘栅双极型晶体管的驱动电路	125
△17.3	电力电子器件的保护电路	127
17.3.1	过电压保护	127
17.3.2	过电流保护	127
17.3.3	缓冲电路	128
17.4	整流电路	129
17.4.1	单相桥式可控整流电路	129
17.4.2	单相桥式半控整流电路	130
△17.5	调压电路	132
17.5.1	交流调压电路	132
17.5.2	直流调压电路	133
17.6	逆变电路	135

17.6.1	单相逆变电路	135
△17.6.2	三相变频调速电路	137
*17.6.3	不间断电源的逆变电路	137
*17.7	整流电路的谐波和功率因数	140
17.7.1	失真的产生	140
17.7.2	谐波电流的危害	140
17.7.3	谐波电流的限制	141
17.7.4	功率因数	141
第18章	组合逻辑电路	143
18.1	脉冲信号	143
18.2	基本门电路	144
18.2.1	逻辑门电路的基本概念	144
18.2.2	分立元件门电路	146
18.2.3	基本逻辑门电路的组合	147
18.3	集成门电路	152
18.3.1	TTL 门电路	152
18.3.2	CMOS 门电路	158
△18.3.3	门电路的连接	161
18.4	逻辑代数	163
18.4.1	逻辑代数的运算法则	163
18.4.2	逻辑代数的表示方法	165
18.4.3	逻辑函数的化简法	166
18.5	组合逻辑电路的分析与设计	171
18.5.1	组合逻辑电路分析	171
18.5.2	组合逻辑电路设计	173
18.6	加法器	179
18.6.1	数制	179
18.6.2	半加器	180
△18.6.3	全加器	181
18.7	编码器	182
18.7.1	普通编码器	183
△18.7.2	优先编码器	184
18.8	译码器和数字显示	186
18.8.1	二进制译码器	186
18.8.2	数字显示	188
△18.9	数据选择与分配	192
18.9.1	数据选择器	192
18.9.2	数据分配器	194
第19章	时序逻辑电路	196
19.1	触发器	196

19.1.1	RS 触发器	196
19.1.2	JK 触发器	199
19.1.3	D 触发器	202
△19.2	时序逻辑电路分析	207
19.3	寄存器	211
19.3.1	数码寄存器	211
19.3.2	移位寄存器	212
* 19.3.3	寄存器应用	215
19.4	计数器	218
19.4.1	同步计数器	218
19.4.2	异步计数器	224
19.4.3	移位寄存型计数器	230
第 20 章	波形产生和变换	237
20.1	正弦波振荡电路	237
20.1.1	正弦波振荡电路的基本原理	237
20.1.2	RC 正弦波振荡电路	238
* 20.1.3	LC 正弦波振荡电路	239
20.2	多谐振荡器	244
△20.2.1	用石英晶体构成的多谐振荡器	244
* 20.2.2	用集成运放构成的多谐振荡器	246
* 20.2.3	用 555 集成定时器构成的多谐振荡器	248
20.3	单稳态触发器和施密特触发器	251
△20.3.1	用 555 集成定时器构成的单稳态触发器	251
* 20.3.2	用 555 集成定时器构成的施密特触发器	253
第 21 章	半导体存储器	257
21.1	只读存储器	257
21.1.1	只读存储器的结构	257
21.1.2	只读存储器的工作原理	258
21.1.3	ROM 的阵列图	259
21.1.4	存储器主要技术参数	260
△21.2	随机存取存储器	263
21.2.1	基本存储单元	263
21.2.2	RAM 的基本结构	263
21.2.3	RAM 容量的扩展	264
21.3	可编程逻辑器件	267
△21.3.1	可编程逻辑器件的结构	267
* 21.3.2	可编程只读存储器	269
* 21.3.3	可编程阵列逻辑	271
* 21.3.4	通用阵列逻辑	272

第 22 章 模拟量与数字量的转换电路	276
22.1 D/A 转换电路	276
22.1.1 D/A 转换器的工作原理	276
22.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	279
22.2 A/D 转换电路	281
22.2.1 A/D 转换器的工作原理	281
△22.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器	284
* 22.2.3 双积分型 A/D 转换电路	287
22.2.4 A/D 转换器的主要技术指标	290
第 23 章 电子测试	293
△23.1 非电量测试系统	293
23.1.1 非电量测试系统的组成	293
23.1.2 被测信号获取	293
23.1.3 信号处理	296
23.1.4 信号输出	298
23.1.5 检测仪表的检定	299
* 23.2 电子式电能表	301
23.2.1 电子式电能表概述	301
23.2.2 电子式电能表的基本结构	302
第 24 章 实验	304
实验一 二极管和三极管测试	304
实验二 基本放大电路	306
实验三 集成运算放大电路	308
实验四 直流稳压电源	311
实验五 组合逻辑电路	314
实验六 时序逻辑电路	317
实验七 集成定时电路	319
实验八 模拟量与数字量的转换电路	321
部分习题答案	324
参考文献	340
附录 A 电阻器和电容器的标称值	341
附录 B 半导体分立器件型号命名方法	343
附录 C 常用半导体分立器件的型号和参数	344
附录 D 半导体集成电路型号命名方法	346
附录 E 常用半导体集成电路的型号和参数	347
附录 F 常用数字集成电路的型号和参数	348
附录 G 基本逻辑件的逻辑符号	350

第 13 章 半导体器件

半导体二极管和三极管是电子技术中最基本的半导体器件。它们的基本结构、工作原理和特性是我们学习电子技术和分析电子电路的基础。而半导体的导电特性和 PN 结的基本原理,又是人们了解半导体二极管和三极管的基础。因此,本章首先简要地介绍半导体的导电特性和 PN 结的基本原理,然后介绍半导体二极管、三极管和金属氧化物半导体场效应晶体管的结构、工作原理、特性曲线以及主要参数,最后介绍光电二极管、光电耦合电路和光电晶体管等。

本章学习要求:(1)了解半导体的导电特性;(2)掌握半导体二极管、稳压二极管、三极管的工作原理和主要参数;(3)了解金属氧化物半导体场效应晶体管的工作原理和主要参数;(4)了解光电二极管、光电耦合电路和光电晶体管的工作原理等。

13.1 半导体的导电特性

半导体器件是构成各种电子电路的基础。半导体的主要特性是什么呢?通常将导电能力介于导体和绝缘体之间的一大类物质(如硅、锗、硒以及大多数金属氧化物和硫化物等)统称为半导体。

很多半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别。例如,钴、锰、镍等氧化物一类的半导体对温度的反应特别灵敏,环境温度升高时,它们的导电能力要增强很多,利用这种特性可做成各种热敏电阻。又如,镉、铅等的硫化物与硒化物一类的半导体受到光照时,它们的导电能力变得很强;当无光照时,又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性可做成各种光敏电阻。

在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,它的导电能力就可增加几十万乃至几百万倍。杂质半导体的奇妙之处在于,掺入不同性质、不同浓度的杂质,可以制造出品种繁多、用途各异的半导体器件。

△13.1.1 本征半导体

最常用的半导体材料是锗和硅,它们各有四个价电子,都是四价元素,锗和硅的原子结构图如图 13.1.1 所示。通过一定的工艺过程可以将半导体提纯,制成晶体(如单晶硅)。完全纯净的、具有晶体结构的半导体为本征半导体。

在本征半导体的晶体结构中,每一个原子与相邻的四个原子结合。每一个原子的一个价电子与另一个原子的一个价电子组成一个电子对。也就是说,两个相邻原子共有一对价电子,这一对价电子构成所谓的共价键,如图 13.1.2 所示。

在本征半导体中,由于共价键的结合力很强,在热力学温度零度时,晶体中不存在能够导电的载流子,所以半导体不能导电。如果温度升高,少数价电子获得足够的能量,可挣脱原子核的束缚成为自由电子。但因自由电子的数量很少,所以本征半导体的导电能力非常微弱。

在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下一个空位,称为空穴。

在外电场的作用下,有空穴的原子可以吸引相邻原子中的价电子,填补这个空穴。同时,在附近的共价

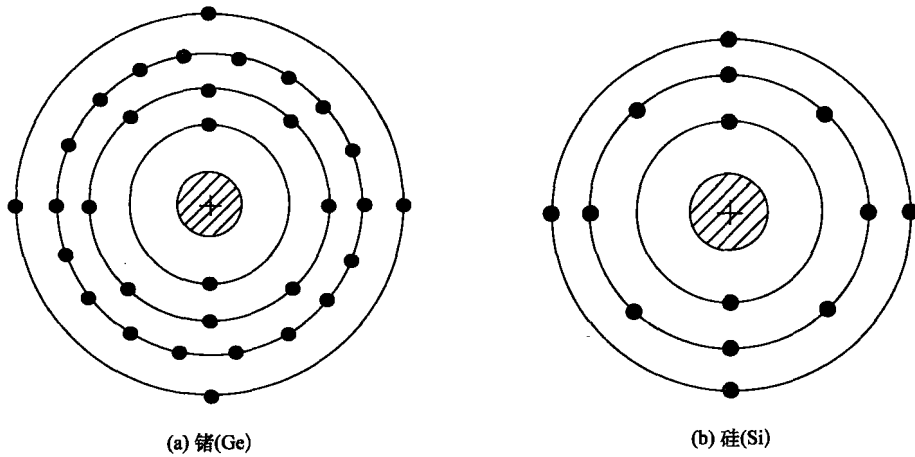


图 13.1.1 半导体的原子结构

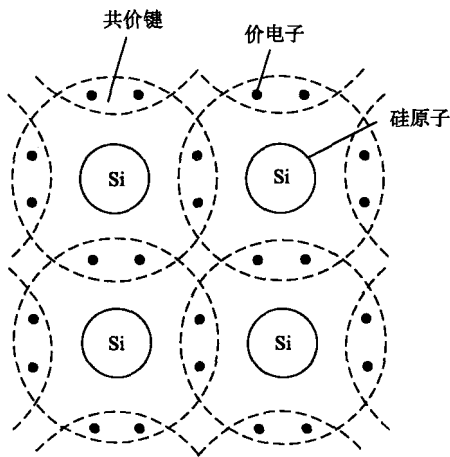


图 13.1.2 硅单晶中的共价键结构

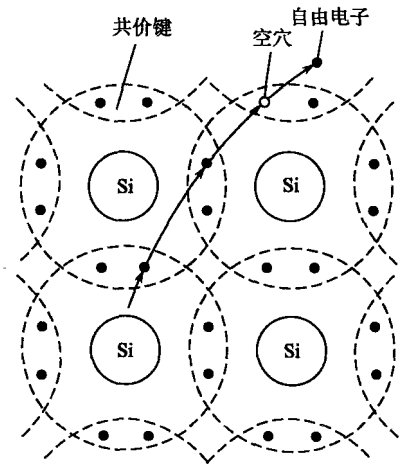


图 13.1.3 空穴和自由电子的形成

键中留下一个新的空穴,同样,它也可以由相邻原子中的价电子来递补,如图 13.1.3 所示。从效果上看,这种共有电子的填补运动,就好像是带正电荷的空穴在运动。

由此可见,半导体中存在两种载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。在半导体中,同时存在着电子导电和空穴导电。

在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对出现,同时又不不断复合。在一定温度下,载流子的产生和复合达到动态平衡,于是半导体中的载流子(自由电子和空穴)便维持一定数目。温度越高,载流子数目越多,导电性能也就越好。所以,温度对半导体器件性能的影响很大。

△13.1.2 N型半导体和P型半导体

在本征半导体中掺入某种微量的杂质,就成了杂质半导体。与本征半导体相比,杂质半导体的导电性能将发生质的变化。

1. N型半导体

在 4 价的硅或锗的晶体中掺入少量的 5 价元素,如磷、镉、砷等,则原来晶格中的一些硅原子被杂质原子

取代。而每个杂质原子的最外层有 5 个价电子,如图 13.1.4 所示,它与周围 4 个硅原子组成共价键结构时只需四个价电子,多余的第五个价电子很容易挣脱磷原子核的束缚而成为自由电子,如图 13.1.5 所示。于是半导体中的自由电子数目大量增加,自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式,故称它为 N (或电子) 型半导体。故在 N 型半导体中,自由电子称为多数载流子,而其中的空穴称为少数载流子。

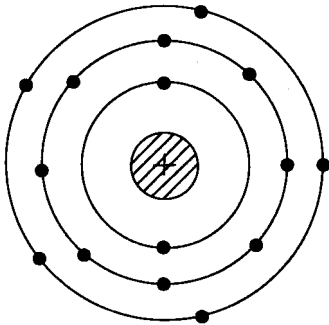


图 13.1.4 磷原子的结构

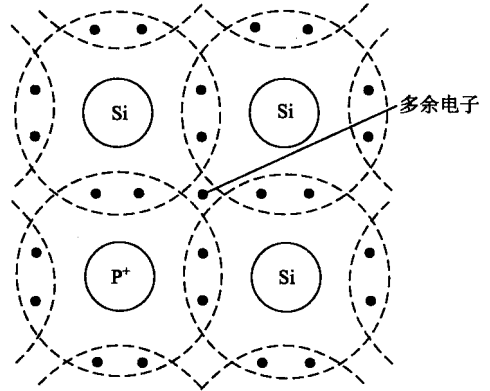


图 13.1.5 硅晶体中掺磷出现自由电子

2. P 型半导体

在 4 价的硅或锗晶体中掺入少量的 3 价元素,如硼、镓、铟等,由于杂质原子只有 3 个价电子,如图 13.1.6 所示,故在构成共价键结构时,将因缺少一个价电子而产生一个空位。当相邻原子中的价电子受到热的或其他的激发获得能量时,就有可能填补这个空位,而在该相邻原子中便出现一个空穴,如图 13.1.7 所示。每一个杂质原子都能提供一个空穴,于是在半导体中就形成了大量空穴。这种以空穴导电作为主要导电方式的半导体称为 P(或空穴)型半导体,其中多数载流子是空穴,少数载流子是自由电子。

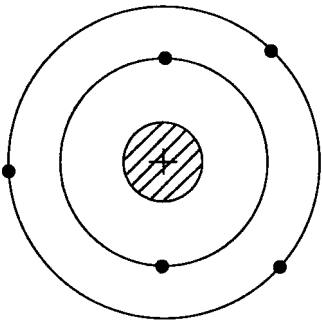


图 13.1.6 硼原子的结构

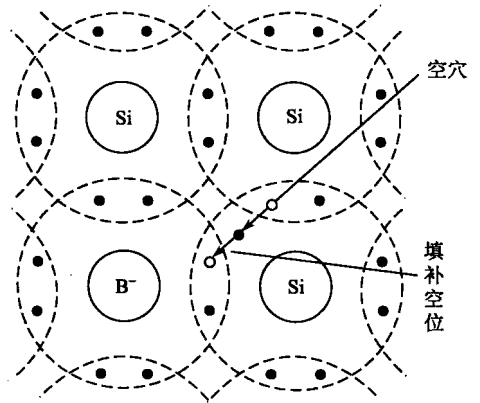


图 13.1.7 硅晶体中掺硼出现空穴

13.1.3 PN 结及其单向导电性

1. PN 结

如果将一块半导体的一侧掺杂成为 P 型半导体,而另一侧掺杂成为 N 型半导体,则在二者的交界处将形成一个 PN 结,如图 13.1.8 所示。在 P 型和 N 型半导体的交界面两侧,由于 P 区空穴和 N 区电子的浓度相差悬殊,所以 P 区中的多数载流子空穴要向 N 区扩散;同时 N 区的电子也要向 P 区扩散,如图 13.1.9(a)所示(图中用实线箭头表示扩散运动方向)。当电

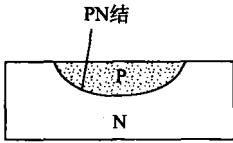


图 13.1.8 PN 结的构造

子和空穴相遇时,将发生复合而消失。于是,在交界面两侧形成一个不能移动的正、负离子组成的空间电荷区,也就是 PN 结,如图 13.1.9 (b)所示。这种因为浓度差而产生的运动称为扩散运动。正负空间电荷在交界面两侧形成内电场,内电场的方向由正空间电荷区指向负空间电荷区。内电场有阻碍扩散运动的作用,空间电荷区越宽,内电场越强,扩散运动就越弱。

扩散运动的同时还存在着漂移运动,即由于内电场的作用,P 区的少量电子会运动到 N 区,而 N 区的少量空穴也会运动到 P 区[如图 13.1.9(a)所示,用虚线箭头表示漂移运动方向]。空间电荷区越宽,内电场就越强,漂移运动就越强。

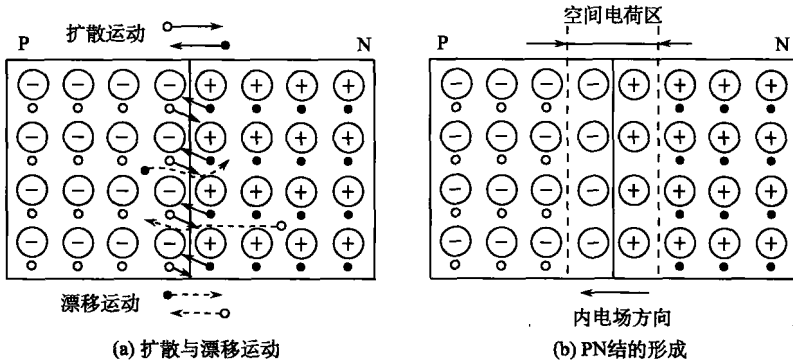


图 13.1.9 PN 结的形成

扩散运动的结果使空间电荷区变宽,漂移运动的结果使空间电荷区变窄,这两个相反的运动最终达到动态平衡。这样,在交接面的两侧就形成了宽度固定的空间电荷区,如图 13.1.9 (b)所示,这个空间电荷区称为 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

(1) 如果在 PN 结上外加一个电压,其正极接 P 区,负极接 N 区,如图 13.1.10(a)所示,则称为正向偏置。当 PN 结正向偏置时,由于外电场(直流电源产生的电场)与内电场方向相反,使空间电荷区变窄,内电场被削弱,因此多数载流子的扩散运动增强,形成较大的扩散电流(即正向电流),这称为 PN 结正向导通。外电源 U 源源不断地提供电荷(正极提供空穴,负极提供电子)使正向电流得以维持。PN 结正向导通后,其两端的电压较小而电流 I 较大,此时 PN 结呈现低电阻,处于导通状态。

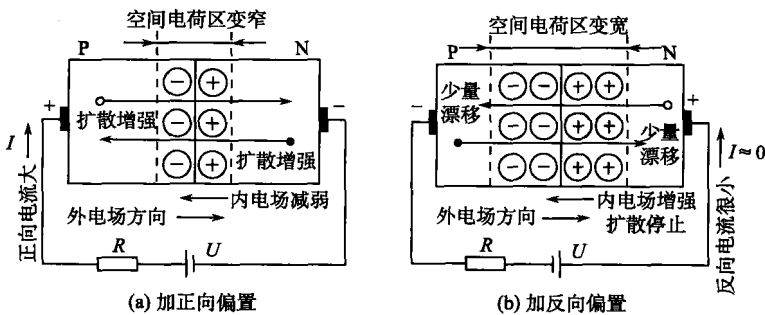


图 13.1.10 PN 结的单向导电性

(2) 如果在 PN 结上外加电压的正极接 N 区、负极接 P 区,如图 13.1.10(b)所示,则称为反向偏置。当 PN 结反向偏置时,由于外电场与内电场方向相同,使得空间电荷区变宽,内电场被增强,因此扩散运动停止,正向电流为 0,只有少量漂移形成反向电流。由于反向电流数值很小,此时 PN 结呈现高电阻,处于截止状态。

思考题

13-1-1 空穴导电与电子导电有什么区别?空穴电流是不是由自由电子递补空穴所形成的?

13-1-2 杂质半导体中的多数载流子和少数载流子是怎样产生的?为什么杂质半导体中少数载流子的浓度比本征载流子的浓度小?

13-1-3 P 型半导体中多数载流子是空穴,因而 P 型半导体带正电;N 型半导体中多数载流子是自由电子,因而 N 型半导体带负电。这种说法是否正确?

13-1-4 为什么说扩散运动是多数载流子的运动,漂移运动是少数载流子的运动?

13.2 二极管

二极管是一种应用广泛的电子器件,它的工作原理是基于 PN 结的单向导电性。二极管分为普通二极管和稳压二极管等。

13.2.1 普通二极管

1. 普通二极管的基本结构

二极管是由一个 PN 结加电极引线和管壳构成的半导体器件,在 P 区一侧引出的电极称为阳极(正极),在 N 区一侧引出的电极称为阴极(负极)。二极管的类型很多,从制造半导体的材料来分,有硅二极管和锗二极管。从二极管的结构来分,有点接触型、面接触型和平面型等三种类型,如图 13.2.1 所示。点接触型二极管的特点是 PN 结面积很小,因而管子中不允许通过较大的电流,但是因为它们的极间电容很小,可以在高频下工作,适用于检波和小功率的整流电路,也用作数字电路中的开关元件;面接触型二极管(一般为硅管)的 PN 结面积很大(极间电容很大),故可通过较大的电流,但其工作频率较低,一般用于低频中功率整流;平面型二极管用于低频大功率整流。

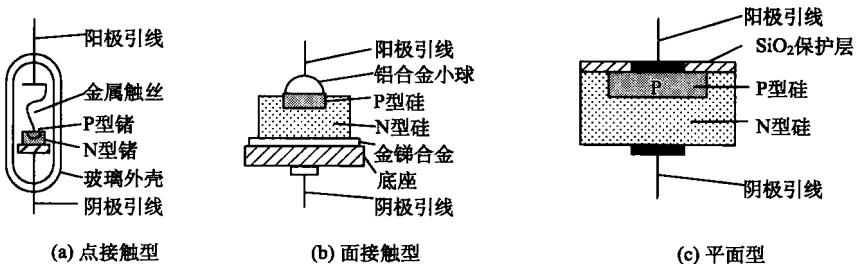


图 13.2.1 二极管的结构

二极管的图形符号如图 13.2.2(a)所示,图中二极管的导电方向为由阳极指向阴极。

2. 普通二极管的伏安特性

二极管两端的电压和流过的电流之间的关系可用伏安特性曲线来表示。伏安特性可通过

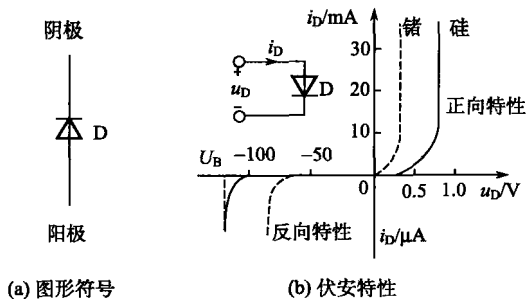


图 13.2.2 二极管的图形符号和伏安特性

二极管的正向压降为 0.6~0.8V, 锗二极管的正向压降为 0.2~0.3V。

2) 反向特性

二极管加上反向电压时, 反向电流的值很小。而且, 在一定范围内, 反向电流并不随反向电压的增加而增大, 故称为反向饱和电流。如果反向电压增加到一定数值时, 反向电流将急剧增加, 称为反向击穿, 此时的电压称为反向击穿电压 U_B 。二极管反向击穿后, 不再具有单向导电性。但是反向击穿并不意味着二极管被损坏, 只要注意控制反向电流的值, 不使其过大, 以免因过热而烧坏, 则当反向电压降低时, 二极管性能恢复正常。

由伏安特性可知, 二极管是一个非线性电阻元件, 它的电流和电压之间不存在比例关系, 电阻不是一个常数。

3. 普通二极管的主要参数

二极管的特性除了用伏安特性曲线表示外, 还可以用一些数据来说明。这些数据就是二极管参数。

(1) 最大整流电流 I_{OM} : 指二极管长期工作时, 允许通过管子的最大正向平均电流。使用时, 二极管实际流过的平均电流不应超过此值, 否则可能使二极管过热而烧坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RWM} : 工作时加在二极管两端的反向电压不得超过此值, 否则二极管可能被击穿。通常将击穿电压值的一半定为 U_{RWM} 。

(3) 反向电流 I_{RM} : 指在室温条件下, 在二极管两端加上规定的反向电压时, 流过管子的反向电流。反向电流越小, 说明二极管的单向导电性越好。此外, 由于反向电流是由少数载流子形成的, 受温度的影响很大。

(4) 最高工作频率 f_M : f_M 值主要决定于 PN 结结电容的大小。结电容越大, 则二极管允许的最高工作频率越低。

二极管的参数是在一定条件下测得的, 故在使用参数时要注意参数的测试条件。在选用二极管时应根据用途来选择其类型。例如用于整流电路时应选择整流二极管(如 2CZ 系列); 用于开关电路时应选择开关二极管(如 2AK、2CK 系列); 用于检波电路时应选择小信号二极管(如 2AP 系列); 用于高频电路时应选择快速恢复二极管(fast recovery diode, FRD)。快速恢复二极管与普通二极管结构不同, 具有开关特性好、反向恢复时间短等特点。

实验测出, 一个典型的二极管的伏安特性曲线如图 13.2.2(b) 所示。伏安特性包括两部分: 正向特性和反向特性。

1) 正向特性

当正向电压较小时, 正向电流几乎等于 0, 这一段称为死区。当正向电压超过某一数值后, 正向电流才开始快速增长, 该电压值通常称为死区电压。硅二极管的死区电压约为 0.5V, 锗二极管约为 0.1V。二极管正向导通后, 电流上升较快, 但管压降变化很小。硅二

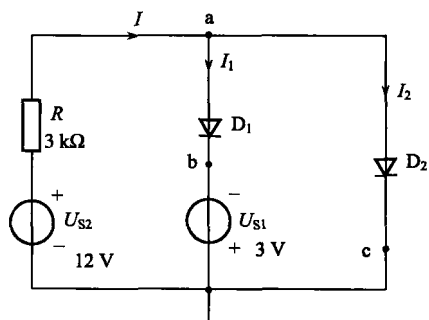


图 13.2.3 例题 13.2.1 的电路