

21世纪高职高专规划教材

电子信息基础系列

电子应用技术

王晓敏 卫书满 主编
蔡德玲 周复明 副主编

清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材

电子信息基础系列

电子技术

常州大学图书馆藏书章

主 编 卫书满 晓敏
副主编 周复明 德玲 蔡

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书重点介绍电子技术及应用基本知识。全书分为8章,系统讲述了半导体器件基础、晶体管基本放大电路、集成功放与稳压电源、电力电子技术、数字电路基础、组合逻辑电路、集成逻辑门电路应用、时序逻辑电路等。每章配有相关内容的实训项目和习题,且部分习题配有题解。

本书可作为高职高专学校、成人高校及各类职业技术学院机电一体化、电气自动化、工程机械、数控加工等工科专业学生的教材,也可作为相关专业职业培训教材或相关工程技术人员参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子应用技术/王晓敏,卫书满主编.--北京:清华大学出版社,2014

21世纪高职高专规划教材.电子信息基础系列

ISBN 978-7-302-33951-9

I. ①电… II. ①王… ②卫… III. ①电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第222889号

责任编辑:刘翰鹏

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁芳

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.75 字 数:406千字

版 次:2014年2月第1版 印 次:2014年2月第1次印刷

印 数:1~2800

定 价:35.00元

产品编号:046577-01

前言

“电子应用技术”是一门实践性很强、覆盖面很广的机电专业基础课程。机电一体化、电气自动化、工程机械、数控加工等专业对电子应用技术的需求越来越迫切,本书主要是为这些专业三年制和五年制高职学生编写的电子应用技术基础课教材。

电子应用技术教材具有一定的特殊性,根据多年的教学经验,我们在编写中遵循了以下原则。

(1) 教材注重内容的实用性。本教材在满足职业教育对理论深度要求的前提下,使讲述内容尽量深入浅出、精练易懂,避免复杂的理论推导,且将定量分析转化为定性说明,以适应机电一体化、电气自动化、工程机械、数控加工等专业学生使用。本教材的重点在于阐明电子器件、电子电路的工作原理,且强调分析应用与实训技能。

(2) 教材注重内容的先进性。本教材反映了电子技术必需的基础知识和在机电领域的基础应用,接近工程实际,在讲解理论的同时结合应用实例,并注意反映当前电子技术领域的新知识、新工艺、新方法,从而使课程学习与工作实际有机地结合起来。

(3) 教材注重职业技能的培养。教材内容参考了职业技能鉴定规范及技术工人等级考核标准,强化职业技能的应用,从而帮助学生提高自学水平,并提供自学渠道。本书涉及的领域主要是电气工程应用领域,习题设计时更注重实用性,主要使用客观题和技能题,以强化学生对供电常识的认识和基本操作的应用。实训指导环节内容为将来从事供配电职业的人员提供实践参考,提醒读者如何进行电力电气设备检修和诊断,并帮助读者近距离了解电力系统运行方式。此外,对企业内从事相关技术的人员也有一定的参考意义。

(4) 教材注重内容的连续性。本课程是一门综合性的基础课,它包括了电子技术基础、电子应用电路等内容,在章节的编排和叙述上尽量做到前后衔接,以方便教学。

(5) 本教材适应高职机电、电子专业各层次学生,有较强的针对性和适用性,体现模块式教学和建设立体化精品教材的宗旨,以适应高职高专教育改革的需要。

在本书的编写过程中,编者得到了学院领导的大力支持,同时获得了企业电子自动化专家的具体帮助,在此表示衷心的感谢;同时还参阅了一些电子应用科技书目,引用了部分文献材料,在此一并向有关文献的作者表示诚挚的谢意。

本书的第1章由葛洲坝集团机电建设有限公司三峡项目部卫书满总工程师编写,第2章由葛洲坝集团机电建设有限公司副总经理周复明高级工程师编写,第3章由三峡电

力职业学院蔡德玲教师编写,第4章由三峡电力职业学院何朝阳教师编写,第5章由三峡电力职业学院钟雪莉教师编写,第6章由三峡电力职业学院陈经文教师编写,第7章由三峡电力职业学院贾露梅教师编写,第8章由三峡电力职业学院王晓敏教师编写,教材中习题及部分习题题解由蔡德玲老师提供,全书由三峡电力职业学院王晓敏教授负责统稿。

由于编者的水平所限,书中疏漏之处在所难免,恳切希望专家、学者和读者不吝指教。

编 者

2013年11月

目 录

第 1 章 半导体器件基础	1
1.1 半导体基础知识	2
1.1.1 半导体	2
1.1.2 PN 结的形成	4
1.1.3 PN 结的特性	4
1.2 晶体二极管	6
1.2.1 二极管的结构和类型	6
1.2.2 二极管的伏安特性	7
1.2.3 二极管的主要参数	8
1.2.4 特殊二极管	9
1.2.5 二极管的识别和应用	11
1.3 晶体三极管	12
1.3.1 三极管的结构和类型	12
1.3.2 三极管的放大作用	13
1.3.3 三极管的特性曲线	15
1.3.4 三极管的主要参数	17
1.3.5 三极管的简易测量	17
1.4 场效应晶体管	18
1.4.1 场效应晶体管的结构	19
1.4.2 场效应晶体管的工作原理	20
1.4.3 场效应晶体管的特性曲线	22
1.4.4 场效应晶体管的主要参数	23
1.4.5 场效应管与三极管特点比较	23
1.5 晶体闸流管	24
1.5.1 晶闸管用途、结构及特点	24
1.5.2 晶闸管的工作原理	25
1.5.3 晶闸管的伏安特性	26

1.5.4	晶闸管的主要参数	27
1.5.5	晶闸管的判别	28
1.6	半导体器件基础实训	29
1.6.1	电子元件的焊装实训	29
1.6.2	电子元件的检测	33
1.6.3	晶闸管的简易测试及其导通、关断条件	38
	本章小结	39
	习题1	41
第2章	晶体管基本放大电路	43
2.1	基本放大电路组成及原理	44
2.1.1	基本放大电路的要求	44
2.1.2	基本放大电路的组成	44
2.1.3	放大电路的工作状态	45
2.1.4	放大电路的连接方式	46
2.1.5	放大电路的主要技术指标	47
2.2	放大电路的分析方法	48
2.2.1	图解法	49
2.2.2	微变等效电路分析法	55
2.2.3	放大电路的频率特性	59
2.3	多级放大电路	60
2.3.1	多级放大电路的组成	60
2.3.2	级间耦合方式	60
2.3.3	多级放大器的电压放大倍数	61
2.4	场效应管放大电路	62
2.4.1	自偏压偏置电路	62
2.4.2	分压式偏置电路	63
2.4.3	场效应管的微变等效电路	64
2.4.4	场效应管放大电路的动态分析	65
2.5	放大电路中的负反馈	66
2.5.1	负反馈的基本类型	67
2.5.2	反馈类型的判别	67
2.5.3	负反馈对放大电路性能的影响	68
2.6	晶体管放大电路实训	70
2.6.1	共发射极单管放大器的简易测试	70
2.6.2	场效应管放大器基本特性的测试	72
	本章小结	74
	习题2	75

第3章 集成功放与稳压电源	78
3.1 集成运算放大器	78
3.1.1 差动放大电路	78
3.1.2 集成运算放大器	81
3.1.3 集成运算放大器的应用	84
3.2 功率放大电路	89
3.2.1 功率放大电路工作状态	91
3.2.2 乙类互补对称式功率放大电路	91
3.2.3 甲乙类互补对称式功率放大电路	92
3.2.4 复合管互补对称式功率放大电路	94
3.2.5 互补对称式功放的功率和效率	95
3.3 整流电路	96
3.3.1 整流电路的分类	97
3.3.2 单相半波整流电路	97
3.3.3 单相全波整流电路	99
3.3.4 单相桥式整流电路	100
3.4 滤波电路	102
3.4.1 电容滤波电路	102
3.4.2 电感滤波电路	105
3.4.3 复式滤波电路	106
3.5 稳压电源	107
3.5.1 硅稳压管稳压电路	107
3.5.2 电子稳压电源	107
3.5.3 集成稳压电路	109
3.6 集成功放与稳压电源实训	111
3.6.1 运算放大器电路实训	111
3.6.2 二极管桥式整流、滤波电路的安装与调试	113
3.6.3 集成稳压电源实训	114
本章小结	115
习题3	116
第4章 电力电子技术	119
4.1 电力电子技术知识	120
4.1.1 电力电子技术的产生	120
4.1.2 电力电子技术的定义	121
4.1.3 电力电子技术的作用	121

4.1.4	电力电子技术的应用	122
4.1.5	电力电子技术的器件	122
4.1.6	电力电子技术的发展	123
4.2	晶闸管可控整流电路	124
4.2.1	单相半波可控整流电路	124
4.2.2	单相桥式可控整流电路	126
4.2.3	晶闸管触发电路	127
4.2.4	三相桥式整流电路	130
4.3	交流变换电路	131
4.3.1	晶闸管交流调压器	131
4.3.2	交交型变频电路	132
4.4	绝缘栅双极型晶体管	134
4.4.1	IGBT 的结构和符号	135
4.4.2	IGBT 的工作特点	135
4.4.3	IGBT 的特性和参数特点	135
4.4.4	功率模块和功率集成电路	136
4.5	逆变电路	137
4.5.1	逆变电路的作用和分类	137
4.5.2	逆变电路的基本工作原理	137
4.5.3	脉宽调制技术	137
4.5.4	弧焊逆变器	140
4.5.5	异步电动机的变频调速技术	142
4.5.6	不间断电源(UPS)	144
4.6	电力电子技术实训	145
4.6.1	变频器的基本操作	145
4.6.2	变频器的参数设置	147
	本章小结	150
	习题 4	151
第 5 章	数字电路基础	153
5.1	数字电路概述	154
5.1.1	数字电路及其特点	154
5.1.2	数字电路的发展和应用	155
5.2	数制和码制	155
5.2.1	常用计数制及其相互转换	155
5.2.2	二进制数的运算	159
5.2.3	二进制代码	160

5.3	逻辑代数基本知识	162
5.4	逻辑代数定律和应用	163
5.4.1	逻辑代数的基本定律	163
5.4.2	逻辑代数的常用公式	164
5.4.3	逻辑代数的基本运算规则	165
5.4.4	逻辑函数及其表示方法	165
5.4.5	逻辑函数的化简	166
5.5	数字电路基础实训	167
5.5.1	数字集成电路使用注意事项	167
5.5.2	不同类型器件的混合使用	170
5.5.3	空余管脚的处理	171
	本章小结	173
	习题 5	174
第 6 章	组合逻辑电路	176
6.1	逻辑门电路	177
6.1.1	分立元件门电路	177
6.1.2	复合门电路	179
6.2	集成门电路	181
6.2.1	TTL 与非门结构及原理	181
6.2.2	CMOS 门电路结构原理	182
6.2.3	TTL 和 CMOS 特点及使用	183
6.3	组合逻辑电路设计	185
6.3.1	组合逻辑电路的分析步骤	185
6.3.2	组合逻辑电路的设计要求	186
6.4	组合逻辑电路实训	187
6.4.1	基本逻辑功能的测试和使用	187
6.4.2	表决器逻辑电路设计	189
	本章小结	191
	习题 6	192
第 7 章	集成逻辑门电路应用	194
7.1	集成门电路应用概述	195
7.1.1	集成逻辑门电路的种类	195
7.1.2	集成逻辑门电路的设计标准	196
7.1.3	集成逻辑门电路设计步骤	197
7.2	加法器与编码器	197

7.2.1	一位加法器	197
7.2.2	多位加法器	199
7.2.3	编码的概念	199
7.2.4	二进制编码器	199
7.2.5	二-十进制编码器	200
7.2.6	常见的集成编码器	201
7.3	译码器与驱动电路	203
7.3.1	译码电路	204
7.3.2	译码器显示电路	208
7.4	集成逻辑门电路应用举例	212
7.4.1	定时灯光提醒器	212
7.4.2	定时声音提醒器	213
7.4.3	双音门铃电路	214
7.5	集成逻辑门电路应用实训	215
7.5.1	译码器及其应用	215
7.5.2	数字闪光树电路实训	216
	本章小结	218
	习题7	219
第8章	时序逻辑电路	221
8.1	触发器	222
8.1.1	概述	222
8.1.2	常用触发器	223
8.2	时序逻辑电路简介	228
8.2.1	时序逻辑电路的概念	228
8.2.2	时序逻辑电路的特点及功能	229
8.2.3	时序逻辑电路的分析方法	230
8.2.4	触发器的转换	232
8.3	计数器和寄存器	233
8.3.1	计数器	233
8.3.2	寄存器	235
8.4	半导体存储器	243
8.4.1	存储器概述	243
8.4.2	随机存取存储器 RAM	244
8.4.3	只读存储器 ROM	246
8.5	时序逻辑电路实训	251
8.5.1	触发器实训	251

8.5.2 时序逻辑电路的分析与应用.....	254
8.5.3 555 电路设计与应用实训	257
8.5.4 555 水位自动控制电路设计	260
8.5.5 水位声光报警电路设计.....	264
本章小结.....	268
习题 8	269
参考文献.....	271

半导体器件基础

【学习目标】

理解有关半导体器件主要物理量的定义；了解晶体二极管、晶体三极管、场效应晶体管和晶闸管的工作特性；了解半导体器件的 PN 结及工作特性；掌握晶体管的识别和应用；理解各种晶体管的分类及用途。

【引例】

随着科学技术的飞速发展,现代半导体器件种类日益繁多,规模和结构更是日新月异。半导体器件是电子线路的核心元件,它具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性强等优点,因此在各个领域得到了广泛的应用。由于集成电路的出现,使半导体器件在微型化和可靠性方面更是向前推进了一大步。

以智能电子门票为例,目前在世界各地的动车、地铁交通系统多数使用智能电子门票来方便乘客乘车旅行。智能电子门票通过存储器与半导体电路的单片集成设计,当半导体芯片在扩大数据容量后,可增强电子门票的智能和应用灵活性,以支持不同的生活方式,从而使交通旅行等服务变得更加高效。不久的将来,消费者只需一张含有半导体集成电路的 IC 卡(即电子车票)即可乘坐各种交通工具,例如公共汽车、火车、有轨电车、出租车或租借自行车,如图 1-1 所示。由于灵活性和功能性的提高,故智能电子门票还可用于

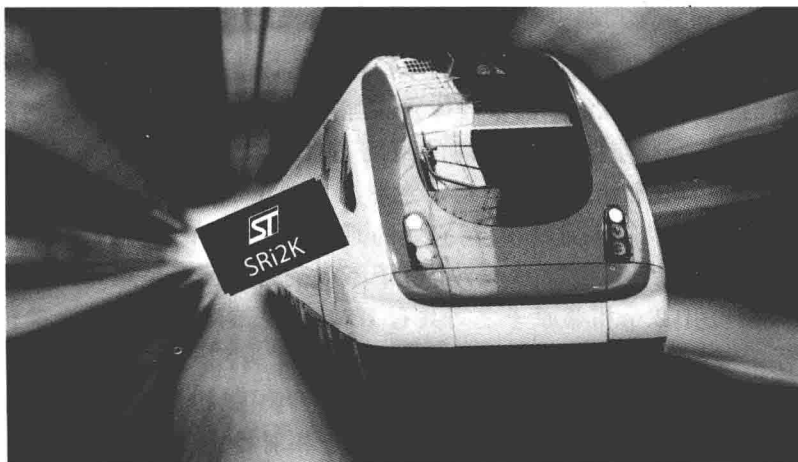


图 1-1 使用在世界各地动车、地铁交通系统上的电子门票半导体集成电路芯片

建筑门禁、会议通行证、自动售货机和主题公园门票等。

半导体器件知识是近代电子技术的重要组成部分,只有掌握半导体器件的结构、性能、工作原理和特点,才能正确分析电子电路工作原理、正确选择和合理使用半导体器件。

1.1 半导体基础知识

1.1.1 半导体

自然界的物质根据其导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。导体如金、银、铜、铝等;绝缘体如橡胶、塑料、云母、陶瓷等;典型的半导体材料则有硅、锗、硒及某些金属氧化物、硫化物等。其中,用来制造半导体器件最多的半导体材料是硅和锗。

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,因而称为半导体。其导电粒子除带负电的自由电子外,还有带正电的空穴,统称为载流子。

1. 半导体的特点

半导体是制造晶体管的原料,它之所以能得到广泛应用,主要原因并不在于它的电阻率大小,而在于其独特的导电性能随温度、光照以及所含杂质的种类、浓度等条件的不同而出现显著的差别。半导体的导电性能有如下特点。

(1) 半导体的导电能力对温度反应灵敏,且受温度影响大。半导体的电阻率随温度上升而明显下降,呈负温度系数的特性。半导体的导电能力随温度上升而显著增加。利用半导体的温度特性,可以把它作为热敏材料制成热敏元件。

(2) 半导体的导电能力随光照的不同而不同。其电阻率随光照的不同而改变。利用半导体的光敏特性,可以将它作为光敏材料制成光敏元件。

(3) 半导体的电阻率与所含微量杂质的浓度有很大关系。纯净的半导体导电能力很弱,但若掺入少量的其他元素,会使半导体的导电能力猛增。因此,可以利用这一导电特性生产各种性能和用途的半导体器件。

2. 半导体的类型

半导体一般分为本征半导体和杂质半导体两种类型。

(1) 本征半导体

纯净的呈单晶形式存在的半导体称为本征半导体,常用来制造半导体器件的硅、锗等材料,必须是经过加工、提炼的单晶半导体。高纯度的硅和锗都是单晶结构,它们的原子整齐地按一定的规律排列着,原子之间的距离不仅很小,而且是相等的。图 1-2(a)和图 1-2(b)所示分别为硅和锗的原子结构示意图。从图 1-2 中看出,它们最外层电子数都是 4 个,故叫 4 价元素。在正常情况下,它们的原子都呈中性。

在硅、锗制成单晶后,最外层的 4 个价电子不仅受自身原子核束缚,而且还与其相邻的 4 个原子核相吸引,2 个相邻原子之间共有 1 对价电子,而价电子称为共价键结构,如图 1-2(c)所示。

“共价键”结构是半导体结构的最大特征,且“共价键”结构把相邻的原子结合在一起。由于每个原子的最外层均有 8 个电子,因而已处于相对稳定的状态。但是,也正是由于“共价键”的特殊结构方式,故使得原子最外层的共有电子不像绝缘体中被原子核束缚得

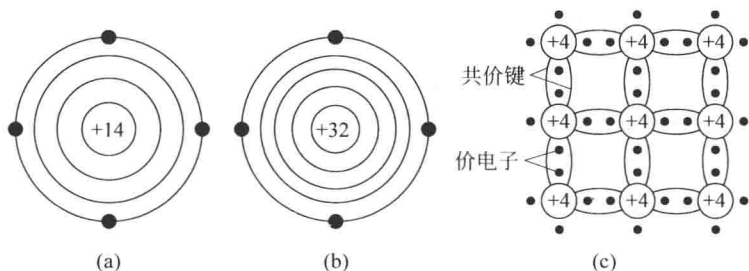


图 1-2 硅和锗原子结构和共价键排列示意图

(a) 硅原子; (b) 锗原子; (c) 锗(硅)原子的共价键结构

那样紧。在一定温度下,如果共价键中的价电子受热激发获得足够能量,则可摆脱共价键的束缚而成为自由电子。这个电子原来所在的共价键的位置上就留下一个缺少负电荷的空位,将这个空位称为空穴。显然,空穴带正电荷。

【特别提示】

空穴载流子的出现是半导体导电特性的一个重要特点。必须指出的是,这些自由电子与空穴在热运动中出现,且它们总是数量相等的,即每出现一个自由电子,就出现一个空穴,自由电子与空穴总是相伴而生、成对出现的。这样,在半导体中,就有自由电子与空穴两种载流子,即电子载流子和空穴载流子,它们形成的电流分别称为电子电流与空穴电流。载流子数目的多少是衡量半导体导电能力的标志,而载流子的浓度是随温度的增加而按指数规律增大的,这就导致半导体的导电能力将随温度的增加而显著增加。

综上所述,本征半导体有如下特点。

① 因为共价键结构,所以本征半导体靠热激发的电子空穴对很少。

② 温度越高,电子空穴对越多。

③ 电子空穴对的热运动是杂乱无章的,且就整体而言,对外不显电性。只有在外电场作用下,电子和空穴运动才具有方向性。

(2) 掺杂半导体

本征半导体实际使用价值不大,但如果在本征半导体中掺入微量的某种杂质元素,就形成 N 型和 P 型半导体。如果掺入的少量元素使半导体中自由电子大量增加,且电子成为多数载流子,空穴成为少数载流子,则将这种半导体称为 N 型半导体。若掺入的少量元素使半导体中空穴大量增加,且空穴成为多数载流子,电子成为少数载流子,则将这种半导体称为 P 型半导体。

① N 型半导体。在本征半导体(以硅为例)中掺入少量的 5 价元素,如磷(P)、砷(A_s)等。因为磷原子的最外层有 5 个价电子,其中 4 个价电子与相邻硅原子的最外层价电子组成共价键形成稳定结构,所以多余的电子很容易受激发成为自由电子。掺入磷元素越多,则自由电子就越多。这种掺入 5 价元素的半导体称为 N 型半导体,如图 1-3(a)所示。N 型半导体主要靠自由电子导电,称为多数载流子;而空穴数量远少于电子数量,称为少数载流子。

② P 型半导体。在本征半导体中掺入 3 价元素,如硼(B)。因为硼原子最外层只有

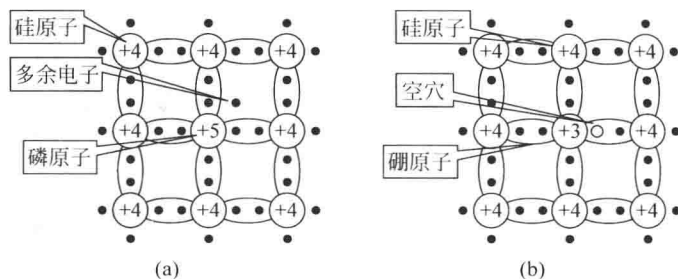


图 1-3 掺杂半导体示意图

(a) N 型半导体; (b) P 型半导体

3 个电子,所以当 3 个价电子和相邻的 3 个硅原子形成共价键后,就留下一个空穴,从而空穴数量增多,自由电子则相对很少,故掺入 3 价元素的半导体称为 P 型半导体,如图 1-3(b) 所示。P 型半导体主要靠空穴导电,称为多数载流子;而自由电子远少于空穴的数量,称为少数载流子。

不论 N 型半导体还是 P 型半导体,在没有施加外界影响时对外不显电性,都如同导体一样呈电中性。

1.1.2 PN 结的形成

用特殊工艺将 P 型和 N 型半导体结合起来,由于交界两侧半导体类型不同,存在电子和空穴的浓度差,故造成 P 区的空穴向 N 区扩散, N 区的电子向 P 区扩散。由于扩散运动,因而 N 区失掉电子产生正离子, P 区得到电子产生负离子。其 P 区和 N 区的交界处会形成正、负离子层,这是一种特殊的带电层,将此带电层称为 PN 结。PN 结上有一个 P 区带负电、N 区带正电的结电场,其方向由 N 区指向 P 区。结电场对扩散运动起到阻碍作用,而电子和空穴的扩散运动随着内电场的加强而逐步减弱,直至达到平衡,则在界面处形成稳定的空间电荷区,如图 1-4 所示。

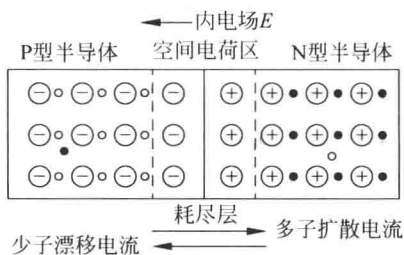


图 1-4 PN 结的形成

PN 结的存在使半导体具有单向导电特性。如果使有 PN 结的半导体在 P 区接电源正极, N 区接电源负极,则称为正向连接。此时,PN 结的电场因外加正向电压作用受到削弱,各区的多数载流子容易穿过 PN 结,形成导电电流。但若使电源的接法相反,PN 结上承受的是反向电压,结电场因反向电压的作用受到加强,从而使多数载流子无法通过 PN 结,此时半导体对电流处于截止状态。

【特别提示】

上述现象说明,具有 PN 结的半导体在加上正向电压时处于导通状态,在加上反向电压时处于截止状态,这种特性称为单向导电性。

1.1.3 PN 结的特性

1. PN 结的正向导通特性

当给 PN 结加正向电压,即 P 区接正电源, N 区接负电源时,称 PN 结为正向偏置,如

图 1-5(a)所示。这时,在有外加电场后,外电场的方向刚好与 PN 结内电场的方向相反。在外加电场作用下,PN 结内部扩散与漂移的平衡被打破,而且由于外电场的作用,因而使得 P 区的多数载流子空穴和 N 区的多数载流子电子都要向 PN 结移动。在 P 区的空穴进入 PN 结后,将和原来 PN 结中的一部分负离子中和,使 P 区的空间电荷量减少;同样,在 N 区的电子进入 PN 结后,将和 PN 结中的一部分正离子中和,其结果是使 N 区的空间电荷量减少;最终结果是使 PN 结空间电荷区变窄了。空间电荷区的变窄意味着阻挡层的厚度变薄,内电场进一步被减弱,它对多子扩散的阻力减小,从而 P 区与 N 区中能越过 PN 结的多数载流子数目大大增加,形成了一个正向扩散电流 I_P 。然而,正向偏置下的 PN 结将相当于一个数值很小的电阻,外加电场越强,正向电流越大,从而可视为 PN 结正向导通。

在这种情况下,由少数载流子形成的漂移电流,其方向与扩散电流相反,但数值很小,常常可忽略不计。

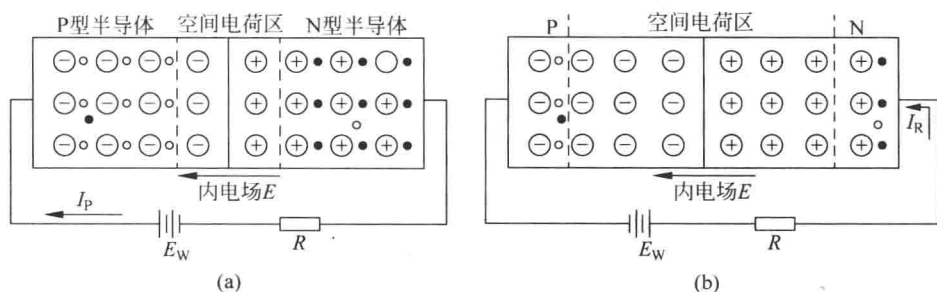


图 1-5 PN 结的单向导电性

(a) 加正向电压时 PN 结导通; (b) 加反向电压时 PN 结截止

2. PN 结反向截止特性

当给 PN 结加反向电压,即电源正极接 N 区,负极接 P 区时,称 PN 结反向偏置,如图 1-5(b)所示。这时,外电场的方向与内电场的方向相同,在这一外电场作用下,P 区中的多子空穴与 N 区中的多子电子都将进一步离开 PN 结,使阻挡层的空间电荷量增加。空间电荷区变宽意味着阻挡层厚度加宽,从而使 P 区和 N 区的多数载流子很难越过 PN 结,不能再形成扩散电流。

另一方面,由于外电场增强了内电场,故将使少数载流子的漂移运动更容易进行。在这种情况下,漂移成为矛盾的主要方面,而且形成一个反向漂移电流 I_R 。由于少子的浓度低,漂移的数量小,故这个反向漂移电流也是很小的,一般为微安数量级,而整个 PN 结表现为一个很大的反向电阻,可视为 PN 结反向截止。

【特别提示】

PN 结具有单向导电性,加正向电压时 PN 结电阻很小,电流 I_P 较大,这是由多数载流子的扩散运动形成的;加反向电压时 PN 结电阻很大,电流 I_R 很小,这是由少数载流子漂移运动形成的。