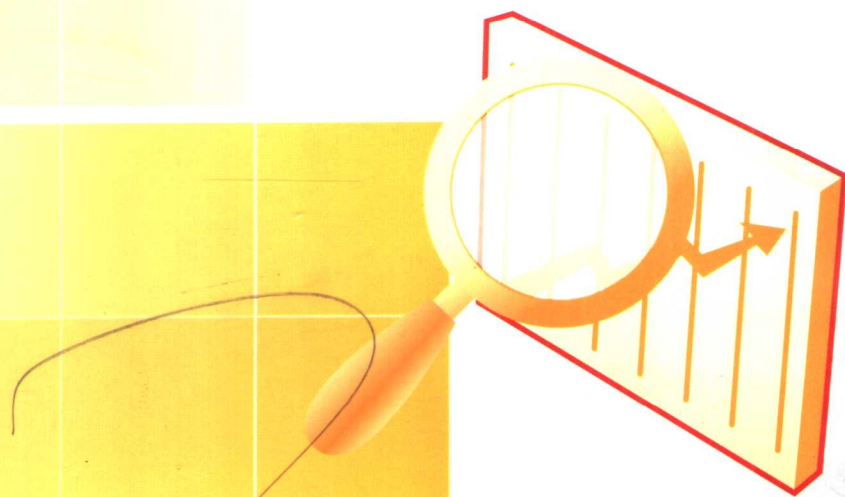




21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科 **电子通信系列** 实用规划教材



电工与电子技术 (下册)

主 编 徐卓农 李士军



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TM
83
:2

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

电工与电子技术(下册)

主 编 徐卓农 李士军
副主编 胡学芝 叶自清
参 编 蒋 峰 桂 林



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本版《电工与电子技术》上、下册系湖南省重点建设课程电工与电子技术重点建设教材,编写内容完全符合国家教育委员会关于高等院校电工学基础课教学要求。

为了培养面向 21 世纪电子技术人才的需要,本书详细地介绍了模拟电子技术和数字电子技术的基本原理和分析方法,为读者深入学习电学知识,适应现代科学技术的发展奠定了理论基础。为了方便读者使用本书,各章均有教学提示、教学要求、小结及习题部分,书末附有部分习题的答案或提示。本书的主要特点是:精选常规内容,强调实际应用环节,表达通俗易懂。

本书为下册共 9 章,包括模拟电子技术和数字电子技术两部分,具体内容包括半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及应用、正弦波振荡电路、电源电路、逻辑代数与集成门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量和数字量之间的转换。

本书可作为高等工科院校非电类专业的教材,也可供从事无线电技术工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术(下册)/徐卓农,李士军主编. —北京:北京大学出版社,2006.8

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10767-6

I. 电… II. ①徐… ②李… III. 电工学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 057953 号

书 名: 电工与电子技术(下册)

著作责任者: 徐卓农 李士军 主编

策划编辑: 徐 凡

责任编辑: 程 源

标准书号: ISBN 7-301-10767-6/TN · 0037

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 355 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 王宝兴 吴舒辞 阎 毅

杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英 张宗念

赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自上个世纪 90 年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005 年 4 月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共 70 余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005 年 8 月在北京召开了《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了 32 本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在 2006 年与读者见面了。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

随着现代科学技术的迅速发展,电工与电子技术这门重要的技术基础课日益体现出其应用和推广的价值,是一门集电路分析、电机及控制、电工测量、模拟电子线路、数字电子线路于一体的综合性、实践性很强的课程,也是非电类专业学生认识电子技术、获取电工与电子技术基础知识以及进行后续专业学习的关键课程。为了密切配合高等院校素质教育计划,推进机电一体化的全面实施,我们编写了电工与电子技术配套教材。

本书为《电工与电子技术》(下册),可与吴舒辞教授主编的《电工与电子技术》(上册)配套使用,作为电工学的配套教材,也可以作为电子技术的教材单独使用。本教材的参考课时为55~70课时。对于少课时采用此书,教师可根据专业特点和学时数进行取舍。

本书包括模拟电子技术和数字电子技术两大部分。模拟电子技术的内容包括半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及应用、正弦波振荡电路、电源电路等。数字电子技术部分的内容包括逻辑代数与集成门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量和数字量之间的转换等。

考虑到实际教学和自学的需要,每章的前面都有该章的教学提示和教学要求。每章内容结束后都编有小结,以帮助学生进行系统的归纳总结及扩展延伸。书的后面附有部分习题的答案或提示,以方便读者使用本书。就整体而言,全书力求突出基本的概念和原理,由浅入深,通俗易懂,以较少的学时达到适当的深度和广度。

本书由徐卓农、李士军担任主编,负责全书的组织、统稿和改稿。参加本书编写工作的有:徐卓农(第1、4、9章,附录,前言等部分)、李士军(第7、8章)、胡学芝(第2章)、叶自清(第3章)、蒋峰(第5章)、桂林(第6章)。

对所有在本教材编写过程中提出宝贵意见和建议,以及在出版过程中给予热情帮助和支持的同行和领导们,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,加之时间比较仓促,书中的疏漏和错误之处在所难免,恳请使用本书的读者和同行老师不吝指正。意见请寄 xzn71@126.com。

编 者
2006.6

目 录

第 1 章 半导体器件 1	
1.1 半导体的基本知识 1	
1.1.1 本征半导体..... 2	
1.1.2 杂质半导体..... 2	
1.2 PN 结与二极管 3	
1.2.1 PN 结的单向导电性 4	
1.2.2 晶体二极管..... 5	
1.2.3 稳压二极管..... 10	
1.3 晶体三极管 11	
1.3.1 晶体三极管的结构和 电路符号..... 11	
1.3.2 三极管的放大原理..... 12	
1.3.3 三极管的特性曲线及 主要参数..... 14	
1.3.4 三极管的主要参数..... 18	
1.3.5 三极管的微变等效电路..... 19	
1.4 场效应管 21	
1.4.1 结型场效应管..... 21	
1.4.2 绝缘栅场效应管..... 23	
1.4.3 场效应管的主要参数..... 25	
1.4.4 场效应管的微变等效电路..... 26	
1.5 本章小结 27	
1.6 习题 28	
第 2 章 晶体管放大电路 31	
2.1 共发射极放大电路 31	
2.1.1 共发射极放大电路的组成 与工作原理..... 31	
2.1.2 静态工作点的分析与估算..... 34	
2.1.3 共发射极放大电路的 动态分析..... 37	
2.1.4 静态工作点的设置与 波形失真..... 40	
2.2 分压式偏置放大电路 42	
2.2.1 温度对晶体管静态工作点 的影响 42	
2.2.2 分压式放大电路的组成及 分析计算 42	
2.3 放大电路的三种基本组态 45	
2.3.1 共集组态和共基组态的 电路形式 45	
2.3.2 共集电极放大电路的 分析与计算 46	
2.3.3 三种组态的性能比较 48	
2.4 多级放大电路 48	
2.4.1 阻容耦合方式的特点 48	
2.4.2 多级放大电路的分析与计算 ... 49	
2.4.3 直接耦合方式 50	
2.5 差动放大电路 50	
2.5.1 基本差动放大电路 50	
2.5.2 典型差动放大电路 52	
2.5.3 带恒流源的差动放大电路 54	
2.6 功率放大器 56	
2.6.1 功率放大电路的基本要求 56	
2.6.2 放大电路的工作 状态与效率 56	
2.6.3 OTL 互补对称功率 放大电路 57	
2.6.4 OCL 互补对称功率 放大电路 59	
2.6.5 复合管互补对称功率 放大电路 60	
2.6.6 集成功率放大器 61	
*2.7 场效应晶体管放大电路 62	
2.7.1 自给偏压偏置电路 62	
2.7.2 分压式偏置电路 63	
2.8 小结 65	
2.9 习题 66	

第3章 集成运算放大器及应用71	4.4.1 石英晶体.....106
3.1 集成运放的电路基础.....71	4.4.2 石英晶体构成的振荡电路.....108
3.1.1 集成运放的组成和 主要性能.....71	4.5 小结.....109
3.1.2 集成运放的传输特性.....73	4.6 习题.....110
3.1.3 理想运放和“虚短”、 “虚断”的概念.....74	第5章 电源电路113
3.2 放大器中的负反馈.....75	5.1 概述.....113
3.2.1 反馈的基本概念.....75	5.2 单相整流电路.....113
3.2.2 反馈的四种组态.....76	5.2.1 半波整流电路.....114
3.2.3 负反馈对放大器性能 的影响.....80	5.2.2 单相全波整流电路.....114
3.3 集成运放在模拟信号运算中 的应用.....82	5.2.3 桥式全波整流电路.....115
3.3.1 比例运算.....82	5.3 滤波电路.....116
3.3.2 加法和减法运算.....84	5.4 稳压电路.....119
3.3.3 积分和微分运算电路.....86	5.4.1 稳压管稳压电路.....119
3.4 集成运放在信号处理中的应用.....88	5.4.2 串联型直流稳压电路.....120
3.4.1 电压比较电路.....89	5.4.3 集成稳压电路.....122
3.4.2 有源滤波电路.....90	5.5 晶闸管.....123
3.5 集成运放的使用.....92	5.5.1 晶闸管的基本结构和 工作原理.....124
3.5.1 合理选用集成运放.....92	5.5.2 晶闸管的伏安特性和 主要参数.....125
3.5.2 使用集成运放的注意事项.....92	5.6 单相可控整流电路.....127
3.6 小结.....94	5.6.1 单相半波可控整流电路.....127
3.7 习题.....94	5.6.2 单相半控桥式整流电路.....128
第4章 正弦波振荡电路98	5.6.3 晶闸管的保护.....129
4.1 自激振荡.....98	5.7 晶闸管触发电路.....131
4.1.1 自激振荡的平衡条件.....98	5.7.1 单结晶体管及其触发电路.....131
4.1.2 振荡的建立与稳定.....99	*5.8 晶闸管应用举例.....134
4.1.3 正弦波振荡电路的组成 与分析方法.....99	5.8.1 晶闸管交流调压电路.....134
4.2 RC 正弦波振荡电路.....100	5.8.2 采用集成触发器的双向 晶闸管交流调压电路.....135
4.2.1 RC 串并联选频电路.....100	5.9 小结.....136
4.2.2 桥式 RC 振荡电路分析.....101	5.10 习题.....137
4.3 LC 正弦波振荡电路.....103	第6章 逻辑代数与集成门电路139
4.3.1 变压器反馈式振荡电路.....103	6.1 数字信号与数制.....139
4.3.2 LC 三点式振荡电路.....104	6.1.1 数字信号的逻辑电平表示.....139
4.4 石英晶体振荡电路.....106	6.1.2 数字信号的传送方式.....139
	6.1.3 数制.....140

6.2 逻辑代数	142	第 8 章 触发器和时序逻辑电路	189
6.2.1 逻辑变量和逻辑函数	142	8.1 集成触发器	189
6.2.2 基本逻辑运算	143	8.1.1 R-S 触发器	189
6.2.3 复合逻辑运算	144	8.1.2 主从型 J-K 触发器	192
6.2.4 逻辑代数的运算规则	146	8.1.3 维持阻塞型 D 触发器	193
6.2.5 逻辑函数的表示方法	147	8.1.4 触发器逻辑功能的转换	194
6.2.6 逻辑函数的化简	149	8.2 寄存器	195
6.3 逻辑门电路	153	8.2.1 数码寄存器	195
6.3.1 三极管的开关特性	153	8.2.2 移位寄存器	196
6.3.2 基本逻辑门电路	154	8.3 计数器	198
6.3.3 TTL 门电路	157	8.3.1 二进制计数器	198
6.3.4 CMOS 集成门电路	162	8.3.2 十进制计数器	201
6.3.5 逻辑门电路使用中应注意 的几个问题	164	8.3.3 其他进制计数器的组合	202
6.4 小结	165	8.4 555 定时器及应用	203
6.5 习题	166	8.4.1 555 定时器结构及功能	203
第 7 章 组合逻辑电路	168	8.4.2 用 555 定时器组成的 多谐振荡器	205
7.1 组合逻辑电路的分析和设计	168	8.4.3 用 555 定时器组成的 单稳态触发器	206
7.1.1 组合逻辑电路的分析	168	*8.5 应用电路介绍	208
7.1.2 组合逻辑电路的设计	169	8.5.1 抢答器	208
7.2 加法器	170	8.5.2 多功能数字钟	209
7.2.1 半加器	170	8.6 小结	211
7.2.2 全加器	171	8.7 习题	211
7.2.3 多位二进制加法	172	第 9 章 模拟量与数字量之间的转换	214
7.3 编码器	173	9.1 概述	214
7.3.1 二进制编码器	173	9.2 D/A 转换器	214
7.3.2 二-十进制编码器	174	9.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	215
7.3.3 优先编码器	176	9.2.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	216
7.4 译码器和数字显示电路	177	9.2.3 D/A 转换器的主要 性能指标	217
7.4.1 二进制译码器	177	9.2.4 集成 D/A 转换器 CC7520	217
7.4.2 显示译码器	180	9.3 A/D 转换器	218
*7.5 集成多路器	183	9.3.1 并行 A/D 转换器	218
*7.6 应用电路介绍	185	9.3.2 逐次逼近 A/D 转换器	220
7.6.1 双控开关电路	185	9.3.3 A/D 转换器的主要性能 指标	221
7.6.2 病房报警电路	185		
7.6.3 动态显示电路	186		
7.7 小结	187		
7.8 习题	187		

9.3.4 集成 A/D 转换器	附录 2 常用逻辑符号对照表	227
ADC0809	附录 3 数字集成芯片的命名规则	229
222	习题答案及提示	230
9.4 小结	参考文献	236
223		
9.5 习题		
224		
附录 1 半导体器件型号命名		
225		

第 1 章 半导体器件

教学提示：二极管和三极管是最常用的半导体器件，本章主要学习半导体二极管、双极型三极管和场效应三极管的基本结构、特性及应用，它们是构成各种电子线路的基本元件。

教学要求：理解 PN 结的单向导电性，半导体三极管和场效应三极管的放大原理及主要参数；重点掌握二极管的伏安特性及应用，三极管的输入、输出特性及微变等效电路。

1.1 半导体的基本知识

自然界中的各种物质，按导电能力的大小可以分为导体、半导体和绝缘体三类。铜、铝等金属物质的电阻率在 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下，它们属于导体，具有较好的导电性能。橡胶、塑料等物质的电阻率在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上，它们属于绝缘体，导电性能较差。半导体的电阻率在 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的范围内。尽管半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间，但是因为它具有热敏性、光敏性和掺杂性，由半导体制成的各种电子器件得到了非常广泛的应用。

(1) 热敏性：半导体的导电性能随着温度发生明显的改变。利用热敏性可制作成各种热敏电阻，用于控制系统和温度测量等。

(2) 光敏性：半导体的导电性能对光照比较敏感。利用光敏性可制作成光电二极管、光电三极管及光敏电阻等多种类型的光电器件，广泛地应用于自动控制和电子设备中。

(3) 掺杂性 在纯净的半导体中掺入极少量的杂质元素，将会极大地改变半导体的导电性能。例如，在纯净的半导体中掺入百万分之一的杂质，其导电能力将提高 100 万倍。利用掺杂性可制作成各种不同用途的半导体器件，如二极管、三极管和场效应管等。

在电子器件中用得最多的半导体材料是硅和锗，硅和锗都是四价元素，最外层原子轨道上具有 4 个价电子。由于相邻原子的距离很近，这四个价电子不仅受到自身原子核的束缚，而且受到相邻原子核的吸引，形成图 1.1 所示的共价键结构。

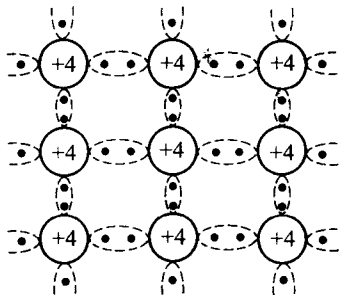


图 1.1 硅和锗的共价键结构

1.1.1 本征半导体

本征半导体指的是完全纯净, 结构完整的半导体晶体。在绝对温度 $T=0\text{K}$ (开[尔文])和没有外界激发的前提下, 本征半导体内的价电子全部被束缚在共价键中, 不能自由运动, 被称为束缚电子, 不能参与导电。因此, 本征半导体中虽然有大量的价电子, 但它们都不能自由移动, 此时的本征半导体不能导电。

当半导体的温度升高或者受到光线照射等外界因素的影响时, 共价键中的某些价电子获得能量, 挣脱共价键的束缚成为自由电子; 与此同时, 原共价键中的相应位置留下空位, 称作“空穴”, 如图 1.2 所示。显然, 电子和空穴总是成对出现的, 换句话说, 本征半导体中的电子和空穴的数目总是相等的, 对外呈电中性。这种在热或光的作用下, 本征半导体中产生电子空穴对的现象称为本征激发。

当共价键中出现空位时, 邻近共价键中的价电子可以跳过去填补这个空位, 而原来价电子的位置又出现新的空位, 这个过程持续下去, 即发生空位的迁移, 如图 1.3 所示。如果把空穴看成带正电的载流子, 那么空穴的移动与带负电的价电子反方向移动的效果是一样的。由此可见, 本征半导体中存在电子和空穴两种可以导电的载流子, 电子带负电, 空穴带正电, 本征半导体正是依靠电子和空穴这两种载流子的移动进行导电。

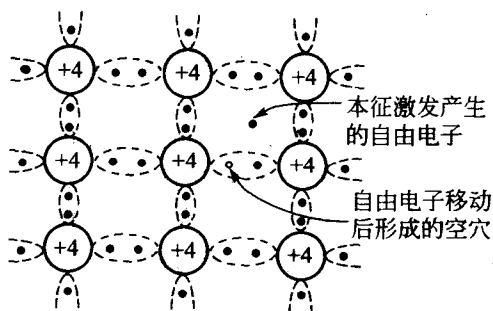


图 1.2 本征激发产生电子空穴对示意图

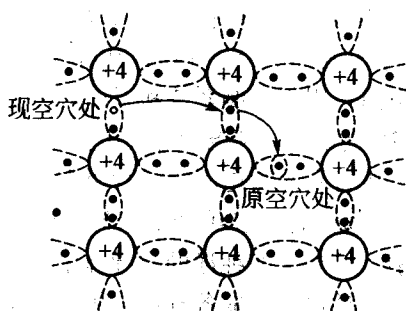


图 1.3 电子和空穴的移动形成电流

1.1.2 杂质半导体

实际应用中, 在纯净的半导体材料中掺入少量的杂质形成杂质半导体, 可以显著改变半导体的导电性能。根据掺入的杂质不同, 杂质半导体又可以分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在纯净半导体中掺入微量的五价元素(如磷)后, 就可形成 N 型半导体, 如图 1.4 所示。由于五价元素最外层有五个价电子, 那么与四价元素形成共价键时, 就有一个价电子不能形成共价键而变成自由电子。同时考虑到常温下由于本征激发产生的少量的电子空穴对, 那么在 N 型半导体中存在两种导电的载流子: 自由电子和空穴。其中自由电子的密度远大于空穴密度, 被称为多数载流子, 简称为多子; 空穴浓度较低被称为少数载流子, 简称为少子。N 型半导体主要依靠电子导电, 因此也被成为电子型半导体。

应当注意的是, 释放了一个价电子的杂质正离子被束缚在晶格中, 并不能像本征激发中的空穴一样参予导电。同时, 晶体中正负电荷数目相等, N 型半导体整体呈电中性。

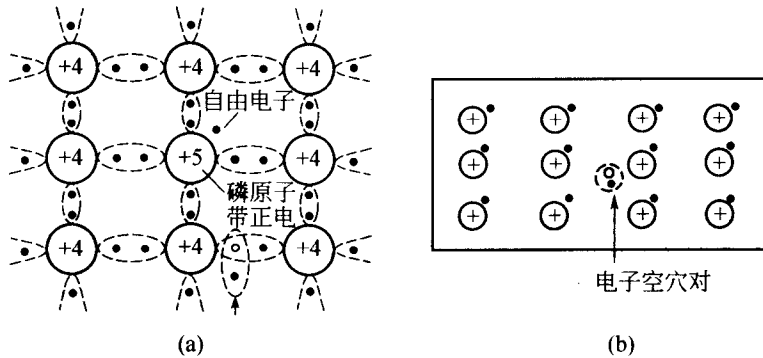


图 1.4 N 型半导体结构

(a) N 型半导体共价键结构; (b) N 型半导体结构简图

2. P 型半导体

在纯净半导体中掺入微量的三价元素(如硼)后, 就可形成 P 型半导体。由于三价元素最外层只有三个价电子, 那么与四价元素形成共价键时, 将会存在一个多余的空穴, 如图 1.5 所示。考虑本征激发产生的少量电子空穴对, P 型半导体中空穴的密度远大于自由电子的密度成为多子, 自由电子浓度较低成为少子。N 型半导体主要依靠空穴导电, 因此也被称为空穴型半导体。

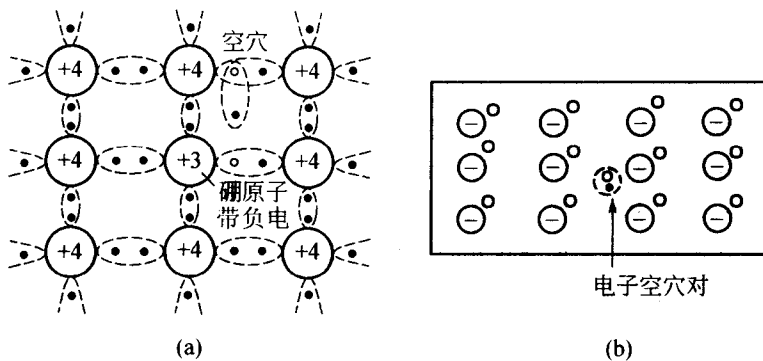


图 1.5 P 型半导体的结构

(a) P 型半导体共价键结构; (b) P 型半导体结构简图

1.2 PN 结与二极管

在一块本征半导体上, 通过一定的掺杂工艺, 一边形成 P 型半导体, 一边形成 N 型半导体, 那么在交界面处将形成一个具有特殊功能的薄层, 称为 PN 结。PN 结的形成参见图 1.6。在 P 型半导体和 N 型半导体的两侧, 由于载流子浓度的差别形成多子的扩散运动, P 区的空穴向 N 区扩散, N 区的电子向 P 区扩散。P 区一侧失去空穴留下不能移动的负离

子, N 区一侧则失去电子留下不能移动的正离子, 这些离子不能参与导电, 在 P 区和 N 区交界面处形成正、负离子的薄层, 称为空间电荷区, 并产生内电场, 方向由 N 区指向 P 区, 该电场的逐渐建立将阻碍多子扩散运动的进行。另一方面, 在 P 型和 N 型半导体的内部还存在少子, 空间电荷区的内电场有利于少子形成漂移运动。随着内电场的逐渐建立, 多子的扩散运动逐渐减弱, 少子的漂移运动随之增强, 最终到达动态平衡, 此时空间电荷区的宽度基本保持不变。

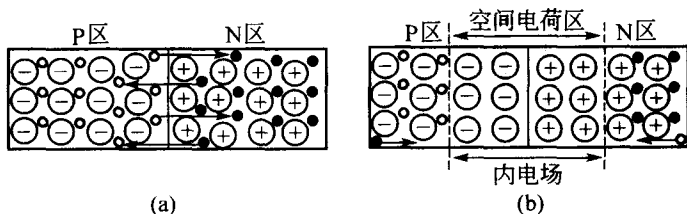


图 1.6 PN 结的形成

(a) 多子扩散; (b) PN 结的形成

1.2.1 PN 结的单向导电性

PN 结最基本的特性就是其单向导电性, 即外加正向电压, PN 结导通; 外加反向电压, PN 结截止。

1. 外加正向电压

当 PN 结加上正向电压, 即 P 区一侧接直流电源正极, N 区一侧接直流电源负极, 称 PN 结正向偏置。

由于外加电压产生的外电场和 PN 结的内电场方向相反, 如图 1.7 所示, 外电场的存在将削弱内电场的作用, 使 PN 结的空间电荷区变窄, 有利于两区的多数载流子向对方扩散, 形成正向电流 I_F , 此时 PN 结处于正向导通状态。

在正常的工作范围内, 正向电压稍有变化, 流过 PN 结的电流就会发生显著变化。PN 结的正向电阻很小, 为了防止 PN 结因电流过大而损坏, 必须在回路中串接限流电阻 R 。

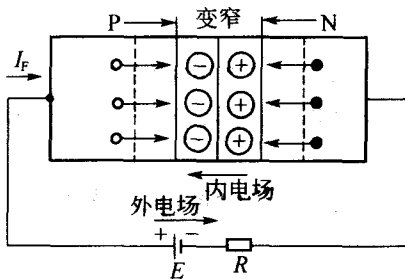


图 1.7 PN 结外加正向电压

2. 外加反向电压

当 PN 结加上反向电压, 即 P 区一侧接直流电源负极, N 区一侧接直流电源正极, 称

PN 结反向偏置。

由于外加电压产生的外电场和 PN 结的内电场方向相同,如图 1.8 所示。外电场的存在将加强内电场的作用,使 PN 结的空间电荷区变宽,阻碍了多数载流子的扩散运动。在外电场的作用下,只有两区的少数载流子形成微弱的反向电流 I_R , 此时 PN 结处于反向截止状态。

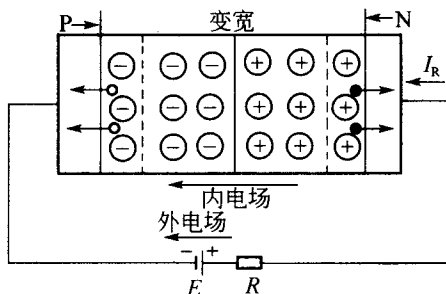


图 1.8 PN 结外加反向电压

应该注意的是,少数载流子是由于本征激发产生的,因此反向电流 I_R 受温度影响比较大。

综上所述,PN 结具有单向导电性:正向偏置时导通,正向电阻很小;反向偏置时截止,反向电阻很大。

1.2.2 晶体二极管

1. 二极管的结构与类型

在 PN 结的 P 型和 N 型半导体上,分别引出两根金属引线,并用管壳封装,就形成了二极管。其中 P 区的引线对应正极, N 区引线对应负极。

二极管按结构、材料、功率大小和用途等,可以进行不同的分类。

按所用半导体的材料,二极管可以分为锗二极管、硅二极管和砷化镓二极管等。

按管子的用途,二极管可以分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管和光电二极管等。

按管子的制作工艺,二极管可以分为点接触型二极管、面接触型二极管和平面型二极管,分别如图 1.9(a)、(b)和(c)所示。二极管可以用图 1.9(d)的符号表示。

点接触型二极管的特点是结面积小,因而结电容小,但允许的工作电流较小。常用于高频检波电路和混频电路中。

面接触型二极管的特点是结面积较大,因而允许通过较大电流,但由于结电容大,只能在较低频率下工作。

平面型二极管中结面积较大的,可通过较大电流,适用于大功率整流;结面积较小的,适用于脉冲与数字电路中作为开关管。

二极管的种类和型号很多,国内外都采用各自规定的命名方法加以区分。我国国产半导体的命名方法采用国家标准 GB249-74,参考附录 1。

半导体器件的型号由五个部分组成,每个部分的含义见附录一。例如 2AP5,其中“2”

表示二极管,“A”表示该管子由N型锗材料构成,“P”表示普通管,“5”表为序号。又如2CZ11,代表N型硅材料组成的整流管。

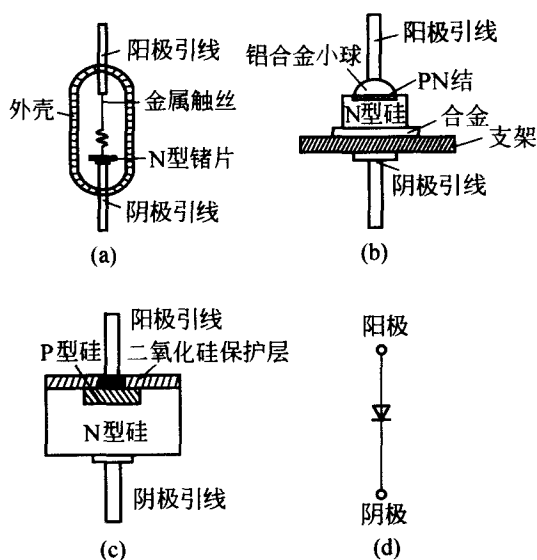


图 1.9 半导体二极管的结构和图形符号

(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 平面型; (d) 图形符号

2. 二极管的伏安特性曲线

二极管的性能可以通过它的伏安特性曲线加以描述。伏安特性是指流过二极管的电流和外加电压的关系。若以外加电压作为横坐标,流过二极管的电流作为纵坐标,用作图法将相应的工作点连成平滑的曲线,即形成二极管的伏安特性曲线。不同的管子具有不同的伏安特性曲线,它是选择和使用二极管的重要依据。图 1.10 给出了某二极管的伏安特性曲线。

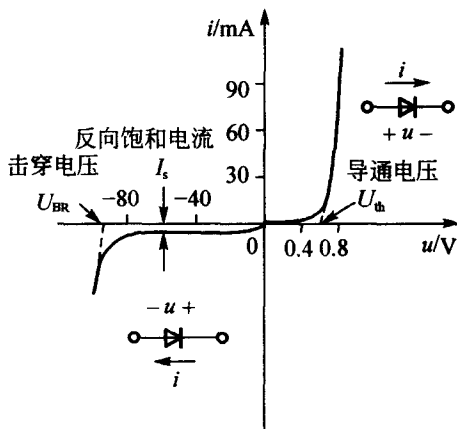


图 1.10 二极管伏安特性曲线