

DIANZI JISHU

电子技术

任永益 刘蔚东 主 编

国防科技大学出版社

374888

电子技术

任永益 刘蔚东 编

国防科技大学出版社

[湘新登字第 009 号]

EA17.134 07
内 容 简 介

本书是根据国家教委电工学课程指导小组制订的“电子技术教学基本要求”为非电类专业本科生编写的教材。全书共十章，主要包括：模拟电子电路和数字电子电路两大部分。每章均附有思考题和习题。书末附有参考答案。该书也可供工程技术人员参考。

电 子 技 术

任承益、刘蔚东 主编

责任编辑 张刚华

责任校对 胡见堂

国防科技大学出版社出版发行

(长沙市砚瓦池正街 42 号)

邮编：410073 电话：436564

新华书店总店科技发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

开本：787×1092 1/16 印张：16.375 字数：365 千字

1993 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数：1—8260 册

ISBN 7-81024-245-8

TN·17 定价 6.85 元

前 言

本书是湖南省电工学研究会（以下简称学会）根据国家教委电工学课程教学指导小组制订的“电子技术教学基本要求”，并参照 1991、1992 年提出的修改意见组织编写的第二轮“电子技术”教材。

“电子技术”第一轮教材于 1989 年正式出版。该教材内容新、实用性强，在使用中取得了较好的教学效果。为了更好地适应教学改革新形势的需要，学会决定组织编写“电子技术”第二轮教材。本教材除保留了第一轮教材的基本特点外，在体系上作了较大调整，加强了基本概念，增加了新的内容，突出了应用，并力求在叙述方面更加明确、流畅，便于自学。学会在组织本教材编写工作的同时，还组织了“电子技术试题库”的编制工作。该试题库可作为本教材的配套教学手段供选用。

本书内容量按 55~70 学时编写。打 * 号的是加深、拓宽内容，供多学时专业选用。

参加本书编写工作的单位有国防科技大学、湖南大学、中南工业大学、交通学院、衡阳工学院和湖南师范大学。参加编写的人员有任永益（绪论、第一章）、刘蔚东（第二、九章）、黄达贤（第三章）、彭士忠（第四章）、贺先锋（第五章）、杨果德（第六章）、谢胜曙（第七章）、冯介一、彭晓燕（第八章）、许军（第十章、附录）。全书由任永益、刘蔚东负责组织编写和定稿。

“电子技术”第一轮教材的主编黄义源教授为湖南省电子技术教材建设作出了重要贡献，并对本书的编写工作给予了大力支持。在此，谨向他表示衷心的感谢！

本书承中南工业大学赵阜南教授主审，并提出了许多宝贵的修改意见。在此，谨向他致以诚挚的谢意。

全书由国防科技大学朱增元老师校对。谨向他及关心支持本书出版工作的各位老师致谢。

由于编者的水平所限，缺点和错误在所难免，希望使用本教材的老师和读者批评指正。

编 者

1992 年 12 月

目 录

(打 * 号者为选择内容)

绪 论	1	1. 级间耦合方式	29
第一章 放大电路基础		2. 电压放大倍数	29
1-1 半导体二极管	3	3. 频率特性	31
1. 半导体的基本知识	3	1-8 场效应管及其放大电路	32
2. 二极管	5	1. 绝缘栅场效应管的结构和工作原理	32
3. 稳压管	7	2. 场效应管的主要参数和小信号模型	34
1-2 晶体三极管	8	3. 场效应管放大电路	34
1. 结构特点	8	* 1-9 光电器件	36
2. 放大原理	8	1. 发光二极管	36
3. 特性曲线	9	2. 光电管	37
4. 主要参数	10	3. 光电耦合器	38
5. 晶体管的小信号模型	12	思考题	39
1-3 晶体管共发射极放大电路	13	习 题	40
1. 共发射极放大电路的基本组成	13	第二章 运算放大器	
2. 共射放大电路的静态分析	14	2-1 概述	45
3. 共射放大电路的图解分析	14	2-2 差动放大电路	46
4. 共射放大电路的性能指标计算	17	1. 静态分析及对零点漂移的抑制	46
5. 静态工作点的稳定	19	2. 差模放大原理	47
1-4 射极输出器 (共集电极放大电路)	22	3. 共模抑制性能	51
1. 静态分析	22	4. 具有恒流源的差动放大电路	52
2. 动态分析	22	2-3 运算放大器电路及参数	53
* 1-5 共基极放大电路	23	1. 运算放大器的简化原理电路	53
1. 电压放大倍数	24	2. 运算放大器的主要参数	55
2. 输入电阻	24	2-4 反相放大器和同相放大器	56
3. 输出电阻	24	1. 理想运算放大器及电压传输特性	56
1-6 功率放大电路	25	2. 反相放大器	57
1. 特点与分类	25	3. 同相放大器	58
2. 互补对称功率放大电路	26	2-5 负反馈在放大电路中的应用	
3. 集成功率放大器简介	28		
1-7 多级放大电路	28		

.....	60
1. 反馈的基本概念	60
2. 负反馈放大电路的类型	61
3. 负反馈对放大电路性能的影响	66
思考题	70
习 题	71

第三章 运算放大器的应用

3-1 模拟运算电路	76
1. 加法电路和减法电路	76
2. 微分电路和积分电路	78
3-2 电压比较器	79
1. 简单电压比较器	79
2. 滞回比较器	82
3. 方波发生器	83
3-3 有源滤波电路	84
1. 低通滤波电路	84
2. 高通滤波电路	86
* 3-4 信号检测电路	86
1. 测量放大器	86
2. 交流电压表电路	88
3. 电荷放大器	89
3-5 正弦波振荡电路	90
1. 振荡条件	90
2. RC 振荡电路	91
* 3. LC 振荡电路	93
* 4. 石英晶体振荡器	95
* 3-6 比例积分调节器 (PI 调节器)	
.....	97
1. PI 调节器及其输出特性	97
2. PI 调节器的应用举例	98
思考题	99
习 题	100

第四章 直流电源

4-1 整流滤波电路	107
1. 桥式整流电路	107
* 2. 三相桥式整流电路	109
3. 滤波电路	110
4-2 稳压电路	113

1. 稳压电路的质量指标	113
2. 稳压管稳压电路	114
3. 典型的串联型稳压电路	115
4. 过载保护电路	117
5. 集成稳压电路	117
思考题	121
习 题	121

第五章 功率电子器件及其应用

5-1 晶闸管	123
1. 晶闸管的结构和工作原理	123
2. 晶闸管的特性和参数	124
5-2 可控整流电路	126
1. 单相半波可控整流电路	126
2. 单相半控桥式整流电路	128
3. 晶闸管的保护	129
5-3 触发电路	129
1. 单结晶体管的工作原理	130
2. 单结晶体管振荡电路	130
3. 单结晶体管触发电路	131
* 5-4 自关断型功率电子器件	132
1. 功率 MOS 场效应管	132
2. 功率晶体管	133
3. 可关断晶闸管	133
思考题	134
习 题	134

第六章 逻辑门

6-1 基本逻辑门	136
1. 与 门电路	136
2. 或 门电路	137
3. 非 门电路	138
6-2 集成 TTL 逻辑门	140
1. TTL 与非 门电路	140
2. 三态门	142
6-3 CMOS 门电路	143
1. CMOS 与非 门电路	143
2. CMOS 或非 门电路	144
思考题	144
习 题	145

第七章 组合逻辑电路

7-1 逻辑代数基础	147
1. 基本公式和常用公式	147
2. 公式化简法	149
7-2 逻辑函数的图形化简法	151
1. 逻辑函数的最小项和最小项表达式	151
2. 卡诺图	151
3. 用卡诺图化简逻辑函数	153
7-3 组合逻辑电路的分析和设计	154
1. 组合逻辑电路的分析	154
2. 组合逻辑电路的设计	156
7-4 编码器	158
1. 二进制编码器	159
2. 二——十进制编码器	160
7-5 译码和显示电路	162
1. 二进制译码器	162
2. 七段译码显示电路	165
7-6 加法器	167
1. 半加器	167
2. 全加器	168
思考题	169
习 题	170

第八章 触发器和时序逻辑电路

8-1 触发器	173
1. R-S 触发器	173
2. 主从型 J-K 触发器	176
3. D 触发器	178
4. T 触发器	179
5. 应用举例	179
8-2 寄存器	181
1. 并行输入寄存器 (数码寄存器)	181
2. 移位寄存器	182
8-3 计数器	183
1. 二进制计数器	184
2. 十进制计数器	189

8-4 定时电路	193
1. 环形多谐振荡器	193
2. 单稳态触发器	194
3. 555 定时器及其应用	195
4. 应用举例	198
思考题	200
习 题	200

第九章 数—模和模—数转换

9-1 D/A 转换器	205
1. T 型电阻网络 D/A 转换器的工作原理	205
2. D/A 转换器的主要特性参数	207
3. 典型 D/A 芯片及其使用	208
9-2 A/D 转换器	209
1. 逐次逼近型 A/D 转换器的工作原理	209
2. A/D 转换器的主要特性参数	212
* 3. 典型 A/D 芯片及其使用	212
思考题	214
习 题	214

* 第十章 电子电路应用实例

10-1 超外差式收音机	217
1. 无线电广播的发送与接收	217
2. 超外差式收音机的原理	218
3. 咏梅系列超外差收音机的电路组成及工作原理	219
10-2 直流电动机可控硅调速系统	220
1. 性能指标	220
2. 工作原理	220
10-3 步进电机驱动电路	222
1. 脉冲分配器	222
2. 脉冲功率放大器	223
10-4 数字转速计	224
1. 电路的组成	225
2. 整机工作过程	226
10-5 小型实用电路	227
1. 多用电子继电器	227

2. TTL 三态逻辑电平测试笔	228
3. 智力竞赛抢答器	228
4. 过压报警器	229
5. 双向对讲机电路	230
6. 自动充电器电路	231

附 录

附录 1 半导体器件型号命名方法	232
附录 2 常用半导体器件的参数	233

附录 3 国际集成电路型号命名方法 ...	236
附录 4 几种常用模拟组件的参数	238
附录 5 几种常用数字组件的参数	239
附录 6 电阻器和电容器标称值系列 ...	245
附录 7 国产 TTL 集成电路与国外 TTL 集 成电路型号对照	247
附录 8 集成电路符号对照	249
部分习题答案	250

绪 论

1. 电子技术的发展和应用概况

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。它是 20 世纪才发展起来的新兴学科。几十年来它以惊人的发展速度改变着它自身和整个现代科学技术的面貌。

1906 年电子管的发明翻开了电子技术发展史的第一页。它开创了无线电通讯技术,并使之迅速发展。收音机、电视机、雷达等现代通讯设备相继问世。由于无线电技术的发展和普及,在较长一段时间内,电子技术被人们称作无线电技术。

1948 年诞生了第一个晶体管。由于它比电子管体积小、重量轻、功耗低、寿命长,因而逐渐取代了电子管,并促使电子技术进一步发展和普及。在我国随着晶体管的普及,在工业生产自动化领域曾引起广泛的技术革新。

1958 年在一小块硅片上制成了包含若干个晶体管和阻、容元件的集成电路,从而使电子技术的发展进入一个新阶段。随着集成度不断提高,目前已能在几平方毫米芯片上制作包含数十万个晶体管的超大规模集成电路。一台计算机,在 1946 年首次用电子管制成时,体积达 90 立方米,重 30 吨;而目前只在一个 6 平方毫米的芯片上即可实现。

电子器件的微型化有力地推动了计算机技术和自动控制技术的发展,并促使电子技术和这两种技术一起渗透到各个传统的学科领域中,迅速改变着它们的面貌。电子技术还和传统学科相交叉,形成许多新的边缘学科领域,如机械电子学、光电子学、医疗工程电子学等等。它们在性能、精度、自动化、智能化等方面都有许多新的突破。

电子技术在向微型化方向发展的同时,也在大功率强电领域取得巨大进展。1957 年研制成功的第一个晶闸管实现了电力系统的无触点控制。此后发展起来的功率晶体管和功率场效应管使得强电的控制变得更加灵活。目前功率电子学已成为电子技术一个新的分支,它正在使传统的电气传动系统实现从直流向交流的转变。

电子技术现在已渗透到国民经济、国防和人民生活的一切领域,使之以更高的速度日新月异地发展。

2. 本课程的任务和基本要求

电子技术课程是高等工业学校本科非电类专业的一门技术基础课。它的任务是使学生通过本课程的学习获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程以及从事与本专业有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。

本课程包括模拟电子电路和数字电子电路两大部分。模拟电子电路是处理模拟信号

的电子电路。模拟信号是指随时间连续变化的信号，例如交流电路中的正弦电压信号($u_1 = U_m \sin \omega t$)和温控系统中温度传感器输出的电信号($u_2 = f(t^\circ)$)都是模拟信号，如图 0-1(a)所示。数字电子电路是处理数字信号的电子电路。数字信号是指在时间上和数值上都是不连续变化的离散信号，例如幅度相等的矩形脉冲信号就是一种数字信号，如图 0-1(b)所示。

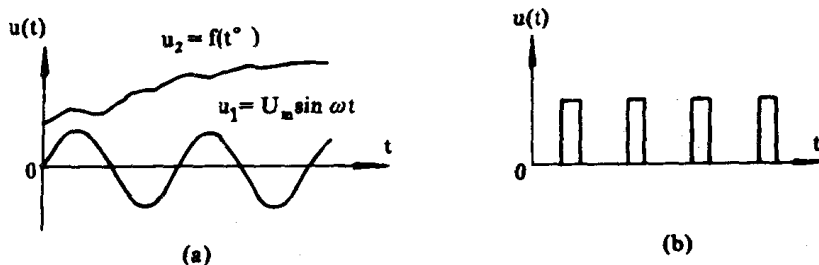


图 0-1 模拟信号和数字信号示意图

模拟电路部分包括第一章至第五章。其中第一章主要介绍分立元件电路，它是学习本课程的基础，也是重点之一。第二章和第三章主要讨论集成运算放大器，它是重点内容之一。第四章和第五章作为了解的内容，侧重于应用。

数字电路部分包括第六章至第九章。这部分内容主要介绍数字电路的基本分析方法和中小规模数字集成电路的原理和应用。它们也是重点之一。第十章综合介绍电子技术的应用实例，可以适当选学。

电子技术是实践性较强的技术基础课，必须注重实验，通过实验培养分析实验现象解决实际问题的能力。习题也是本课程重要的教学环节，通过习题巩固和深化对课程内容的理解与掌握，培养分析问题解决问题的能力。

第一章 放大电路基础

本章介绍各种分立元件的半导体器件和它们的应用电路,如半导体二极管、稳压管、晶体三极管、场效应管等常用的半导体器件,和共射放大电路、共集放大电路、功率放大电路等基本放大电路。它们是构成集成电路器件和组成复杂的电子电路的基础。本章还将介绍放大电路的基本分析方法。因此学好本章将为学好以后各章内容奠定基础。

1-1 半导体二极管

1. 半导体的基本知识

(1) 半导体的导电性能

纯净的半导体称为本征半导体 (intrinsic semiconductor)。常用的半导体有硅 (Silicon) 和锗 (Germanium), 它们都是四价元素。其原子的最外层轨道上有四个价电子。在原子排列整齐的硅 (或锗) 晶体中, 每个原子与相邻原子的价电子互相结合形成共价键。共价键中的电子不能自由运动, 因此在绝对零度且没有光照的条件下, 本征半导体是不导电的。但是当温度增高 (如常温) 或受光照后, 少数价电子获得能量挣脱原子核的束缚, 成为自由电子 (free electron), 同时原来的共价键中留下一个空位, 称为空穴 (hole), 如图 1-1 所示。共价键中的电子虽然不能自由运动, 但却可以填补相邻的空穴, 使空穴的位置发生移动。

在外电场的作用下, 自由电子沿着与电场相反的方向移动, 形成电子电流; 空穴因相邻价电子的替补作用, 沿着与电场相同的方向移动, 形成空穴电流。半导体中的电流就是由这两部分电流组成的。自由电子和空穴称为半导体中的两种载流子 (carrier)。

如果在纯净的半导体中掺入微量的五价元素 (如磷), 其原子外层五个价电子中只有四个能与周围的硅原子结成共价键, 多余的一个价电子将成为自由电子

(如图 1-2), 从而使半导体中的自由电子数大大增加。自由电子成为这种半导体中的多数载流子, 空穴成为少数载流子。这种半导体称为 N 型半导体 (N-type semiconductor)。若掺入微量的三价元素 (如硼), 则它外层的三个价电子在与硅原子结成共价键时, 将因缺少一个电子而形成空穴 (如图 1-3), 从而使半导体中的空穴数大大增加。空穴成为这种半导体中的多数载流子, 自由电子成为少数载流子。这种半导体称为 P 型半导体

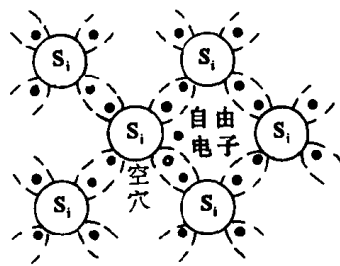


图 1-1 常温下的本征半导体

(P-type semiconductor)。必须注意，无论N型半导体还是P型半导体，它们虽然有带不同电荷的多数载流子，但整个半导体仍然是电中性的。N型半导体和P型半导体统称为掺杂半导体 (doped semiconductor)。

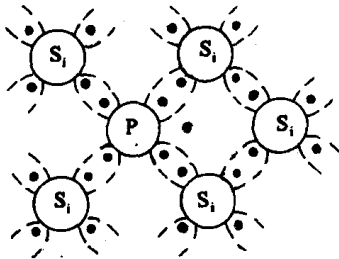


图 1-2 N 型半导体

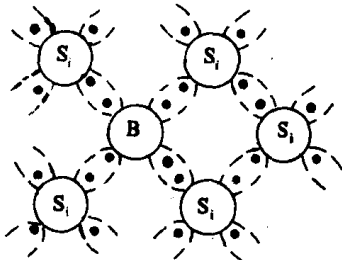


图 1-3 P 型半导体

(2) PN 结

如果通过一定的掺杂工艺措施，使一块半导体的一侧形成N型半导体，另一侧形成P型半导体，它们的交界面就成为PN结 (PN junction)。PN结虽只有微米级的厚度，却有重要的特性，它是制造各种半导体器件的基础。

首先分析PN结形成的物理过程。

在P型半导体和N型半导体交界面的两侧，N区的自由电子浓度远大于P区自由电子浓度，因此N区的自由电子必然向P区扩散 (diffusion)，交界面N区侧因失去自由电子而留下带正电且不能移动的正离子。同样P区的空穴浓度远大于N区的空穴浓度，P区的空穴必然向N区扩散，交界面P区侧因失去空穴而留下带负电且不能移动的负离子。这些带电离子在交界面两侧形成带异号电荷的空间电荷区，它就是PN结。由于空间电荷区中载流子基本耗尽，因此也称为耗尽层或阻挡层，如图1-4所示。

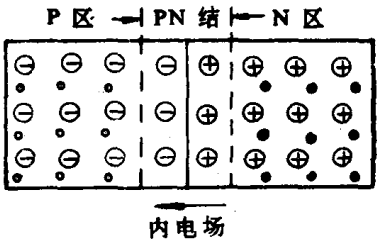


图 1-4 PN 结

由于PN结的N区侧为正电荷，P区侧为负电荷，因此形成由N区指向P区的内电场。内电场一方面阻止多数载流子的继续扩散、另一方面又促使靠近PN结边界的N区的少数载流子空穴向P区运动，P区的少数载流子自由电子向N区运动。载流子在电场作用下的运动称为漂移 (drift)。少数载流子在内电场作用下漂移形成的电流和多数载流子扩散形成的电流方向是相反的，平衡时二者必然相等，通过PN结的总电流为零。

再分析PN结加外加电压时的情形。

通常将加在PN结上的电压称为偏置电压。若P区接电源正极，N区接电源负极称为正向偏置 (forward bias)，简称正偏，如图1-5所示。此时外电场与内电场方向相反，内电场被削弱，多数载流子被推向耗尽层，使耗尽层变薄，从而使多数载流子的扩散运动加强，形成较大的由P区流向N区的扩散电流，称为正向电流。这时PN结呈现的电阻很低，称为导通状态 (on)。

若P区接电源负极，N区接电源正极，称为PN结反向偏置 (reverse bias)，简称反

偏,如图 1-6 所示。此时外电场与内电场方向一致,内电场加强,耗尽层变厚,使多数载流子的扩散运动难以进行。这种情况虽有利于少数载流子的漂移运动,但因少数载流子数量很少,只能形成很小的反向电流,因此反偏时呈现的电阻很高,称为截止状态 (cut-off)。又因为少数载流子是由于价电子获得能量挣脱共价键的束缚而产生的,环境温度愈高,少数载流子的数量愈多,所以温度对反向电流影响较大。

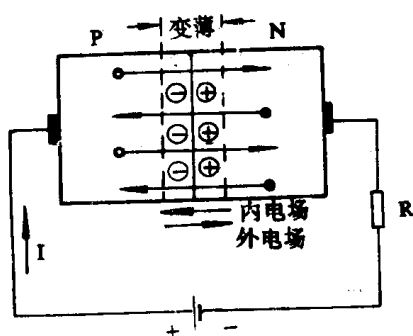


图 1-5 PN 结正向偏置

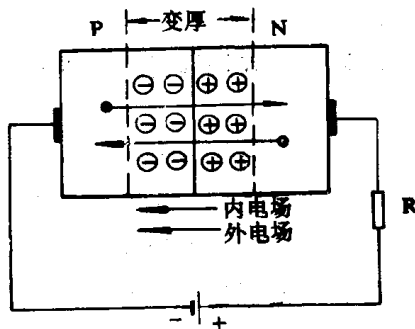


图 1-6 PN 结反向偏置

由以上分析可知,PN 结具有单向导电性,正向偏置时,PN 结电阻很低,呈导通状态;反向偏置时,PN 结电阻很高,呈截止状态。

2. 二极管

从 PN 结的两侧引出电极线,再加管壳封装就成为半导体二极管 (diode)。其符号如图 1-7 所示。接 P 区的电极称为正极或阳极,接 N 区的电极称为负极或阴极,箭头表示电流正向导通的方向。二极管根据所用的材料不同,可分为硅二极管和锗二极管。硅二极管使用较为广泛。

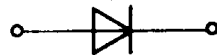


图 1-7 二极管符号

(1) 特性曲线

由于二极管实质上就是一个 PN 结,因而同样具有单向导电性。为了比较准确地分析二极管的导电特性,首先画出它的伏安特性曲线 (如图 1-8 所示)。其中实线表示硅二极管伏安特性,虚线表示锗二极管伏安特性。

伏安特性曲线图的第一象限称为正向特性。它表示当外加正向电压时二极管的工作情况。当正向电压很小时,外电场不足以克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动的阻力,故正向电流很小,几乎为零。此区域称为死区。硅管的死区电压约为 0.5 伏,锗管的死区电压约为 0.2 伏。当正向电压超过死区电压后,内电场被大大削弱,电流迅速增长,二极管导通。导通时二极管的端电压基本上是一常量。硅管约为 0.7 伏,锗管约为 0.3 伏。

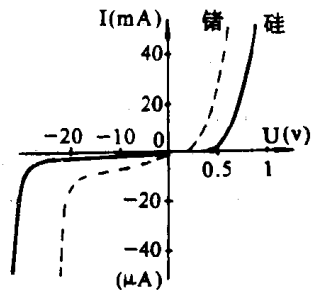


图 1-8 二极管的伏安特性

特性曲线的第三象限称为反向特性。它表示当外加反向电压时二极管的工作情况。在反向电压作用下,由于少数载流子的漂移运动,形成很小的反向电流。反向电流在一定

范围内与反向电压的大小无关，故通常称之为反向饱和电流。反向饱和电流越小，管子性能越好。一般硅管是微安数量级，锗管比硅管高1~2个数量级。当反向电压增大到某一数值时，反向电流突然增大，这种现象称为击穿（breakdown）。此时的电压称为反向击穿电压。各类二极管的反向击穿电压从几十到几百伏不等，最高可达千伏以上。通常情况下，二极管击穿时的电流，电压都较大，当超过它允许的功耗时，将使PN结过热而损坏。

(2) 主要参数

二极管的参数是选用二极管的依据，可从半导体元件手册上查到。下面介绍几个主要参数：

1) 额定正向平均电流 I_F 。指二极管允许长期通过的最大平均正向电流。它主要取决于PN结的面积。二极管的 I_F 受PN结允许结温的限制。电流超过 I_F ，将使PN结过热而烧毁。大功率二极管为了降低工作时的温度，还需加装散热片。

2) 最大反向工作电压 U_R 。指二极管工作时允许加的最大反向电压。手册上给出的 U_R 值均低于反向击穿电压，以保证二极管正常工作时不被击穿。

3) 反向漏电流 I_R 。指二极管未被击穿时的反向饱和电流值。此值越小越好。反向电流大，说明二极管的单向导电性差，并且受温度影响大。

4) 最高工作频率 f_M 。超过此频率二极管将丧失单向导电性。PN结两侧的空间电荷与电容器极板充电时所储存的电荷类似，因此PN结具有电容效应，相当于一个电容，称为结电容（junction capacitor）。二极管的PN结面积越大，结电容也越大。由于高频电流可以直接通过结电容，从而破坏了二极管的单向导电性。故每种二极管都有最高工作频率的限制。

二极管的应用十分广泛，例如整流、检波、限幅以及构成二极管门电路等。二极管整流电路将在直流稳压电源一章中作较详细的介绍。下面通过两个实例说明二极管在检波与门电路中的应用。

【例 1-1】晶体管收音机从天线接收并经混频、放大后的信号是频率为465千赫、幅度与音频信号成比例的调幅波，如图1-10(a)所示。该信号是二极管检波电路（图1-9）的输入信号 u_i 。试分析检波电路输出信号 u_o 的波形。

解 由于二极管的单向导电性， u_i 经过二极管后将只留下正半周的波形。如果断开电容器 C ，则输出波形 u_o 将如图1-10(b)所示。由于电容 C 对465千赫中频信号的容抗只有0.02欧姆，而对于1千赫音频信号的容抗为10欧姆，故电容 C 接入时，465千赫中频信号所产生的电压降几乎为零，输出信号 u_o 仅为音频信号，如图1-10(c)所示。

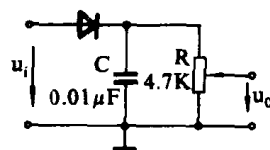


图 1-9 二极管检波电路

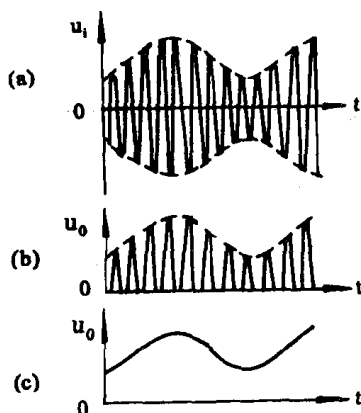


图 1-10 例 1-1 波形图

〔例 1-2〕 图 1-11 是硅二极管与门电路^{*}，电源为 +5 伏，设输入端 A 点的电位为 $U_A = 3V$ ，B 点的电位为 $U_B = 0V$ ，求输出电位 U_O 之值。

解 因 B 点电位比 A 点低，故 D_B 比 D_A 更容易导通。 D_B 导通时正向压降为 0.7 伏，它把 O 点电位钳制在 0.7 伏，从而使 D_A 因承受反向电压而截止，故 U_A 对 U_O 不起作用。因此 $U_O = 0.7V$ 。

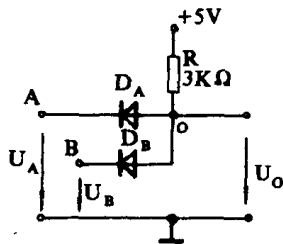


图 1-11 二极管与门电路

3. 稳压管

稳压管 (Zener diode) 是一种特殊的硅二极管。由于它具有掺杂浓度高，PN 结薄的特点，因而其反向击穿电压可以做得较低。它的符号如图 1-12 所示。

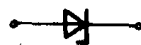


图 1-12 稳压管符号

稳压管的伏安特性曲线与普通二极管类似，如图 1-13 所示。所不同的是稳压管主要工作在击穿区。从反向特性曲线可以看出，当反向击穿电流在很大范围内变化时，其端电压变化很小。利用这一特性，可以起到稳压作用。

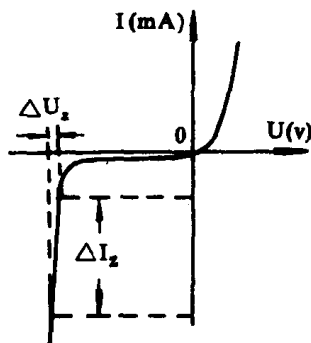


图 1-13 稳压管伏安特性

由于稳压管击穿电压较低，只要把电流限制在允许的范围内，那么它在击穿区工作时产生的热损耗将不会超过它允许的功耗范围，因而它的电击穿是可逆的，去掉反向电压后，PN 结又恢复正常。

稳压管的主要参数有

(1) 稳定电压 U_Z 。指稳压管的稳压值。由于制造工艺的原因，同一型号的稳压管稳压值略有不同，有一定的分散性。

(2) 稳定电流 I_Z 。指稳压管工作电压等于稳定电压时的工作电流。手册中给出的 I_Z 值，可作为使用时的参考数据。

(3) 最大稳定电流 I_{ZM} 。指稳压管允许的最大工作电流，超过此值稳压管将因发热而损坏。

(4) 动态电阻 r_z 。指稳压管两端电压的变化量与相应的电流变化量的比值，即

$$r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

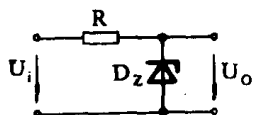


图 1-14 稳压管应用电路

稳压管击穿区的反向特性曲线越陡，则动态电阻越小，稳压性能也越好。

使用稳压管时主要注意两点，一是要反向联接，使它工作在击穿区；二是要串联适当的限流电阻，以免电流过大烧坏管子。图 1-14 是稳压管的典型应用电路。

* 与门的含义将在第六章中介绍

1-2 晶体三极管

晶体三极管简称晶体管 (transistor), 是具有放大作用和开关作用的半导体器件。它是电子电路的核心, 对电子技术的发展起着重要作用。

1. 结构特点

晶体管结构如图 1-15 所示。它是在 N 型硅片上端的中部通过扩散工艺掺入 P 型杂质, 形成一个 P 区, 再在 P 区的中部掺入高浓度的 N 型杂质, 再形成一个 N 区, 然后在这三个区域分别引出三个电极, 即发射极 E(emitter)、基极 B

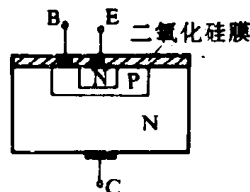


图 1-15 晶体管结构

(base)和集电极 C(collector)。发射区用来发射载流子, 集电区用来收集发射区发出的载流子, 基极用来控制发射区发射载流子的数量。为了保证上述功能的实现, 晶体管在结构上具有以下特点:

- (1) 发射区的掺杂浓度大, 以便能产生较多的载流子;
- (2) 集电区的面积大, 以便收集从发射区发出的载流子;
- (3) 基区很薄且掺杂浓度低, 目的是减小基极电流, 增强基极的控制作用。

晶体管分成 NPN 型和 PNP 型两大类, 它们的结构示意图和符号如图 1-16 所示。由图可见, 无论哪一类晶体管都有两个 PN 结。基区和发射区之间的 PN 结称为发射结; 基区和集电区之间的 PN 结称为集电结。

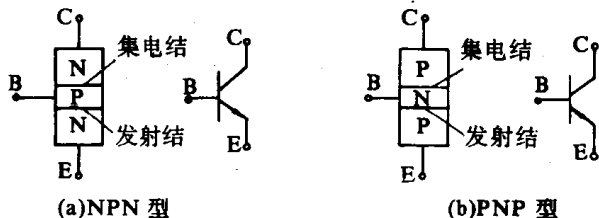


图 1-16 晶体管的结构示意图和符号

根据制造材料的不同晶体管又可分为硅管和锗管两种。使用最为普遍的是 NPN 型硅管, 其次是 PNP 型硅管。锗管由于温度稳定性较差已很少使用。下面以 NPN 型晶体管为例来说明晶体管的放大原理。

2. 放大原理

在图 1-17 的电路中晶体管接成两个回路。基极、 R_B 、 U_{BB} 和发射极组成输入回路; 集电极、 R_C 、 U_{CC} 和发射极组成输出回路。发射极是两个回路的公共端, 因此这种接法称为晶体管的共发射极电路。电路中集电极电源电压 U_{CC} 比基极电源电压 U_{BB} 大, 从而使 $U_{BC} < 0$, $U_{BE} > 0$, 即集电结反向偏置, 发射结正向偏置。这是晶体管进行放大的外部条件。

由于发射结处于正向偏置, 发射区的自由电子不断扩散到基区, 并从电源 U_{CC} 负极得

到补充,从而形成发射极电流 I_E 。从发射区扩散到基区的自由电子中有一小部分要与基区的空穴复合,被复合掉的空穴由基极电源 U_{BB} 补充,形成基极电流 I_B 。由于基区很薄,且掺杂浓度很低,发射极发出的自由电子中被复合掉的很少,大部分自由电子由于浓度差而继续向集电结方向扩散,到达集电结附近。由于集电结反向偏置,它能阻挡集电区的自由电子向基区扩散,而从发射区扩散到集电结附近的自由电子,却可以顺利地加速通过,从而形成集电极电流 I_C 。

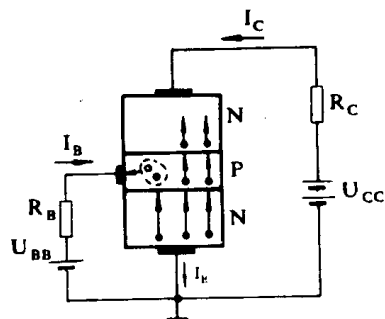


图 1-17 晶体管中载流子的运动

综上所述,从发射区发出的自由电子中只有一小部分在基区复合,形成基极电流 I_B ,绝大部分到达集电区形成集电极电流 I_C 。 I_C 与 I_B 的比值用 β 表示,即

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-1)$$

β 表示基极电流对集电极电流的控制作用。如果把 I_B 看作输入电流, I_C 看作输出电流,则 β 表征晶体管的电流放大能力,称为直流电流放大系数。

发射极和基极、集电极电流之间的关系可由克希荷夫电流定律写出,即

$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = (1 + \beta) I_B \quad (1-2)$$

在上述分析晶体管内部载流子运动过程中,未考虑集电区少数载流子空穴在集电结内电场作用下发生的漂移运动。这种漂移形成的电流称为集基反向截止电流,记为 I_{CBO} 。它也是 I_B 的一部分,但在通常情况下它所占的比例很小,对晶体管的放大作用几乎没有影响,因而暂时忽略。它的作用将在图 1-20 中讨论。

此外,发射结正向偏置、集电结反向偏置这一条件不仅对 NPN 管放大电路是必要的,对 PNP 型晶体管放大电路同样是必要的。但在 PNP 型晶体管放大电路中,电源 U_{CC} 和 U_{BB} 的极性均应与图 1-17 相反,因而放大条件为 $U_{BC} > 0$, $U_{BE} < 0$ 。

3. 特性曲线

晶体管的特性曲线一般是指共发射极接法时的伏安特性曲线。它分为输入特性曲线和输出特性曲线两组。这些特性曲线可用晶体管特性图示仪测出。它反映晶体管的性能,是设计放大电路的依据。

(1) 输入特性曲线

输入特性曲线是指当 U_{CE} 恒定时,晶体管输入回路 I_B 与 U_{BE} 之间的关系曲线,即

$$I_B = f(U_{BE}) |_{U_{CE}=\text{常数}}$$

图 1-18 是在 $U_{CE} \geq 1$ 伏条件下测得的硅管输入特性曲线。由图可见晶体管的输入特性曲线与二极管的正向特性曲线相似。

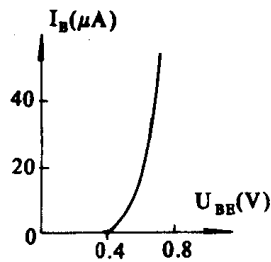


图 1-18 晶体管输入特性曲线

和二极管一样,晶体管输入特性也有死区。硅管死区电