



高等职业教育“十二五”电类专业系列教材

电子技术及应用

DIANZIJIISHU JI YINGYONG

马祥兴 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育“十二五”电类系列教材

电子技术及应用

马祥兴 主编

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书共分两篇。第一篇为模拟电子技术,主要介绍常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大电路、功率放大器、正弦波振荡电路及直流稳压电源。第二篇为数字电子技术,主要介绍数字电路基础、组合逻辑电器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换电路、数/模和模/数转换以及存储器和可编程逻辑器件等。为便于教学,每章配有本章小结及习题,书末并附有相关的 10 个实验项目。

本书为高职院校电类及相关专业的教材,也可供有关从事电子技术的教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术及应用/马祥兴主编. —北京:中国铁道出版社,2010.8
高等职业教育“十二五”电类专业系列教材
ISBN 978-7-113-11839-6

I. ①电… II. ①马… III. ①电子技术—高等学校:
技术学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 169943 号

书 名:电子技术及应用
作 者:马祥兴 主编

责任编辑:阚济存	电话:010-51873133	教材网址:www.tdjiaocai.com
封面设计:郑春鹏		
责任校对:张玉华		
责任印制:陆 宁		

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号,100054)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:三河市华业印装厂
版 次:2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
开 本:787mm×1 092mm 1/16 印张:25 字数:620 千
印 数:1~3 000 册
书 号:ISBN 978-7-113-11839-6
定 价:46.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

Preface 前言

本书是根据教育部制订的“高职高专教育模拟电子技术、数字电子技术基础课程教学基本要求”和“高职高专教育人才培养目标及规格”编写的,可作为全国高等职业学校电气自动化、电气技术、供用电技术、机电技术应用等相关专业的教学用书,也可作为相关专业的职业教育学历教学用书。

在本书的编写过程中,力图体现培养高等技术应用性专门人才的特点,以满足教学规格所需。努力贯彻“应用为目的,必需、够用为度”的精神,在保证教学基本要求和课程结构体系科学合理的前提下,力求体现出教材的针对性、实用性、先进性和浅显性。为了增强教材的针对性,充分考虑了高职高专人才规格的知识要求 and 能力要求,着力培养学生的分析问题和解决问题的能力,以及适应岗位需求的职业能力。为了提高教材的实用性,贯彻了以基本知识、基本理论、基本能力为主线,尽量使教学内容与职业岗位要求相吻合,注重理论联系实际,学以致用。在教学内容的取舍上以分立元件为基础,以集成电路为重点,突出了电子元器件在电子电路中的应用、电子电路的基本分析方法,强化了线性集成电路和数字集成电路的运用。为了体现教材的先进性,吸收了较多的电子新器件、新技术的内容,使教学内容能紧跟科学技术的快速发展。为了满足教材的浅显性,尽量做到了深入浅出,循序渐进,删繁就简。对于器件的内部机理叙述简明扼要,突出了其外特性和引脚功能及其应用。适当简略了原理的论证及繁琐的公式推导,以定性分析为主,定量分析为辅。

本书分两大篇,第一篇为模拟电子技术,内容包括:常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大电路、功率放大电路、正弦波振荡电路、直流稳压电源;第二篇为数字电子技术,内容包括:数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模和模/数转换,以及本存储器和可编程逻辑器件。理论教学课时为112~130,加*部分为选学内容。教学过程中可根据专业的不同和各校的实际情况作适当取舍。教材中每章有本章小结及习题,书末并附有相关的10个实验项目,以供教学使用。

本书由南京铁道职业技术学院苏州校区马祥兴主编,广州铁路职业技术学院张红、武汉铁路职业技术学院王彦担任副主编。具体分工是马祥兴编写前言、第

七、八、九、十章,并负责全书的统稿工作;张红编写第二、十一、十二章;王彦编写第一、三、五章;内江铁路机械学校黄强编写第四章;太原铁路机械学校李春英编写第六章。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者提出批评和意见。

编 者

2010年8月

本书常用符号说明

一、元件符号

1. 电阻

R	电阻通用符号、直流电阻或静态电阻
r	交流电阻或动态电阻
R_P	电位器
R_B, R_C, R_E	基极、集电极、发射极电阻
R_G, R_D, R_S	场效应管栅极、漏极、源极电阻
R_S	信号源内阻
R_L, R'_L	负载电阻、负载等效电阻
R_F	反馈电阻
r_{be}	三极管基极—发射极间的等效输入电阻
r_i, r_o	放大电路的交流输入、输出电阻
r_{if}, r_{of}	有反馈时电路的交流输入、输出电阻
r_d	二极管动态电阻
r_z	稳压管动态电阻

2. 电容、电感

C	电容通用符号
C_B, C_E	基极、发射极旁路电容
C_S	源极旁路电容
C_F	反馈电容
C_j	PN 结电容
C_B, C_D	势垒电容、扩散电容
C_{be}, C_{bc}	基极—发射极电容、基极—集电极电容
C_i, C_L	输入电容、负载电容
L	电感通用符号、自感系数
M	互感系数
T	变压器通用符号

二、器件符号

1. 二极管与三极管

P, N	空穴型、电子型半导体
VT	三极管、场效应管
VD	普通二极管
VZ	稳压二极管
LED	发光二极管
A, K	整流元件阳极、阴极
$b(B), c(C), e(E)$	三极管基极、集电极、发射极
$g(G), d(D), s(S)$	场效应管栅极、漏极、源极

2. 集成器件

A	集成运算放大器
IC	集成电路通用符号
G	门
OC	集电极开路门
TS	三态门
TG	传输门
SW	模拟开关
ALU	算术逻辑运算单元
$MUX, DMUX$	数据选择器、数据分配器
F	触发器
ROM/RAM	只读/随机存取存储器
PLD/PLA	可编程逻辑器件/逻辑阵列
PAL/GAL	可编程阵列逻辑/通用阵列逻辑

三、电压与电流符号

1. 工作电源电压

符号规定：

大写字母，大写下标，并双写该下标字母

V_{BB}	三极管基极直流电源电压
V_{CC}	三极管集电极直流电源电压
V_{EE}	三极管发射极直流电源电压
V_{GG}	场效应管栅极直流电源电压
V_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
V_{SS}	场效应管源极直流电源电压
E	电池通用符号
GND	接地端

2. 电压与电流

符号规定：

小写字母，小写下标，表示交流瞬时值

小写字母，大写下标，表示含直流量的瞬时值

大写字母，小写下标，表示交流有效值

大写字母，大写下标，表示直流量(或静态值)

U, u	电压通用符号
V, v	电位、电平通用符号
I, i	电流通用符号
$\dot{U}, \dot{I}$	交流复数值
$\Delta U, \Delta I$	直流变化量
$\Delta u, \Delta i$	瞬时值变化量
U_Q, I_Q	直流电压、电流静态值

u_i, i_i, u_{i1}, i_{i1}	输入电压、电流
u_o, i_o, u_{O1}, i_{O1}	输出电压、电流
u_s, i_s	信号源电压、电流
u_f, i_f	反馈电压、电流
u_d, u_c	差模电压、共模电压
u_+, i_+, u_-, i_-	运放同相端、反相端输入电压与电流
$U_R, U_{REF}, I_R, I_{REF}$	参考电压基准电压、电流
U_P	夹断电压
U_T, U_{TH}	开启电压、门坎电压或阈值电压
U_{IH}, U_{IL}	输入高电平、输入低电平
U_{OH}, U_{OL}	输出高电平、输出低电平
U_{ON}, U_{OFF}	开门电平、关门电平
U_{NH}, U_{NL}	高电平噪声容限、低电平噪声容限
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时 c—e 极间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时 e—b 极间的反向击穿电压
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时 c—b 极间的反向击穿电压
U_{CES}	三极管 c—e 极间的饱和管压降
I_{CBO}	发射极开路时 c—b 间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时 c—e 间的穿透电流
I_{CM}	三极管集电极最大允许电流
u_{BE}	三极管 b—e 极间含直流量的瞬时电压
u_{CE}	三极管 c—e 极间含直流量的瞬时电压
i_B, i_C, i_E	三极管 b、c、e 极的含直流量的瞬时电流
i_b, i_c, i_e	三极管 b、c、e 极的交流瞬时电流
I_{BQ}, I_{CQ}, I_{EQ}	三极管 b、c、e 极的静态工作电流
U_{GS}	场效应管 g—s 极间的直流电压
U_{DS}	场效应管 d—s 极间的直流电压
u_{GS}	场效应管 g—s 极间含直流量的瞬时电压
u_{DS}	场效应管 d—s 极间含直流量的瞬时电压
I_D	场效应管漏极电流、二极管整流电流
I_{DO}	增强型场效应管 $U_{GS}=2U_{TH}$ 时的漏极电流
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS}=0$ 时的漏极电流
U_Z, I_Z	稳压管的稳定电压、稳定电流
I_{FM}	二极管最大整流电流
I_S, I_R	二极管的反向饱和电流、二极管的反向电流
U_{RM}	二极管最高反向工作电压
$U_{(BR)}$	二极管的击穿电压

四、功率符号

P	功率通用符号
p	瞬时功率
P_{Om}	最大输出交流功率
P_V	晶体管耗散功率
P_E	电源消耗的功率
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率

五、频率符号

f, ω	频率、角频率通用符号
f_{BW}	通频带
f_H, f_L	放大电路的上限截止频率、下限截止频率
f_s, f_p	石英晶体的串联、并联谐振频率
f_M	二极管的最高工作频率

六、放大倍数、增益符号

A	放大倍数或增益通用符号
A_u, A_{uo}	电压放大倍数、开环电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
A_{uf}	负反馈放大电路的闭环电压放大倍数
F	反馈系数通用符号
A_{ud}, A_{uc}	差模电压放大倍数、共模电压放大倍数
K_{CMR}	共模抑制比
$\bar{\beta}, \beta$	三极管共射极直流、交流电流放大系数
$\bar{\alpha}, \alpha$	三极管共基极直流、交流电流放大系数
g_m	场效应管低频互导(跨导)

七、脉冲、数字电路参数符号

f	周期性脉冲的重复频率
T	脉冲周期
U_m	脉冲幅度
t_r, t_f	上升时间、下降时间
t_w	脉冲宽度
q	占空比
t_{pd}	平均传输延迟时间
N_O	扇出系数
CP	时钟脉冲
CLK	时钟
B、D、H	二进制、十进制、十六进制
EN	允许、使能
CE	输出允许

八、其他符号

Q	品质因素、静态工作点
T	温度
U_T	温度电压当量
η	效率
τ	时间常数
φ	相位角
φ_A	基本放大电路的相位移
φ_F	反馈或移相网络的相位移
t_{on}, t_{off}	导通时间、截止(关闭)时间
S_r	稳压系数
S_U, S_I	电压调整率、电流调整率
SR	转换速率
S	开关
KA	继电器

Contents 目 录

第一篇 模拟电子技术

第一章 常用半导体器件	1
第一节 半导体的基础知识	1
第二节 半导体二极管	5
第三节 特殊二极管	11
第四节 半导体三极管	15
第五节 常用半导体器件的命名与测试	23
第六节 场效应管	25
本章小结	35
习题一	36
第二章 放大电路基础	41
第一节 放大电路的基本概念	41
第二节 共射极放大电路	43
第三节 图解分析法	46
第四节 微变等效电路分析法	52
第五节 共集电极放大电路	56
第六节 多级放大电路	60
第七节 负反馈放大电路	67
第八节 场效应管放大电路	80
本章小结	84
习题二	85
第三章 集成运算放大电路	91
第一节 集成电路概述	91
第二节 差分放大电路	93
第三节 集成运算放大器的组成与理想特性	99
第四节 集成运算放大器的基本运算电路	105
第五节 集成运算放大器的非线性应用	113

第六节 集成运算放大器使用注意事项	117
本章小结	119
习题三	120
第四章 集成功率放大电路	126
第一节 概 述	126
第二节 互补对称功率放大电路	128
第三节 集成功率放大器	134
本章小结	139
习题四	139
第五章 正弦波振荡电路	141
第一节 自激振荡的基本工作原理	141
第二节 RC 正弦波振荡电路	142
第三节 LC 正弦波振荡电路	145
本章小结	153
习题五	154
第六章 直流稳压电源	158
第一节 直流稳压电源的组成	158
第二节 整流电路	159
第三节 滤波电路	163
第四节 串联型直流稳压电路	167
第五节 线性集成稳压器	171
第六节 开关型稳压电源	174
本章小结	179
习题六	179

第二篇 数字电子技术

第七章 数字电路基础	182
第一节 数字电路概述	182
第二节 逻辑门电路	186
第三节 逻辑代数及逻辑函数的化简	191
第四节 集成逻辑门电路	200
第五节 接口电路	200
本章小结	218
习题七	219

第八章 组合逻辑电路	224
第一节 组合逻辑电路的分析与设计.....	224
第二节 编 码 器.....	227
第三节 译 码 器.....	230
* 第四节 运 算 器	239
第五节 数据选择器与分配器.....	242
* 第六节 数值比较器	245
本章小结.....	247
习题八.....	248
第九章 时序逻辑电路	251
第一节 概 述.....	251
第二节 集成触发器.....	252
第三节 寄 存 器.....	266
第四节 计 数 器.....	271
第五节 数字电路应用举例.....	287
本章小结.....	292
习题九.....	293
第十章 脉冲波形的产生与变换电路	299
第一节 概 述.....	299
第二节 555 集成定时器	300
第三节 施密特触发器.....	302
第四节 单稳态触发器.....	305
第五节 多谐振荡器.....	309
本章小结.....	313
习题十.....	313
第十一章 数/模和模/数转换	316
第一节 概 述.....	316
第二节 D/A 转换器(DAC)	317
第三节 A/D 转换器(ADC)	324
本章小结.....	331
习题十一.....	331
* 第十二章 半导体存储器和可编程逻辑器件	333
第一节 概 述.....	333
第二节 只读存储器 ROM	334
第三节 随机存取存储器(RAM)	339

第四节 可编程逻辑器件(PLD).....	345
本章小结.....	350
习题十二.....	351
实验一 认识实验(仪器仪表的使用).....	353
实验二 单级低频小信号放大电路.....	355
实验三 负反馈放大器.....	357
实验四 集成运算放大电路.....	359
实验五 正弦波振荡电路.....	362
实验六 串联型稳压电源.....	364
实验七 TTL 门电路的逻辑功能测试	366
实验八 组合电路逻辑功能测试.....	369
实验九 计 数 器.....	372
实验十 555 集成定时器应用	375
附 录.....	378
参考文献.....	387

第一篇 模拟电子技术

第一章 常用半导体器件

半导体器件是构成现代电子电路的基础,由于它具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和转换效率高等优点而得到广泛的应用。常用的半导体器件主要有晶体二极管、晶体三极管、场效应管,这些器件广泛地应用于各种电子设备。

本章简要地介绍它们的基本特性和基本工作原理。首先从介绍半导体的基本知识开始,讨论半导体器件的核心部分——PN 结,然后介绍二极管的物理结构、工作原理、特性曲线和主要参数,并对几种特殊二极管也给予简要介绍,接着再介绍三极管、场效应管的物理结构、工作原理、特性曲线和主要参数。学习这些半导体器件是为下一步学习电子电路奠定基础,在处理器件与电路的关系时应遵循“管为路用”的原则,重在器件的外部特性和功能,对其内部的导电机理不求过深的探讨。学习中应注意掌握器件的分析方法和正确使用,为学习电子电路打下基础。

第一节 半导体的基础知识

一、半导体的导电特性

1. 半导体的特点

物质的导电性能取决于原子结构。自然界中的各种物质按其导电性能的不同可划分为:导体、半导体和绝缘体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,它具有独特的热敏性、光敏性和掺杂性。

(1)热敏特性:半导体的电阻率随温度升高而减小,其导电能力将显著增加。例如半导体锗在温度每升高 10°C 时,它的电阻率将减小为原来的一半。利用半导体的热敏特性,可以制成各种热敏器件,用于自动控制系统以及温度测量等。需要指出的是,因半导体器件对温度变化很敏感,所以在环境温度变化时,将影响半导体器件组成的电子电路的性能。

(2)光敏特性:半导体材料受到光照时,其电阻率减小,导电能力显著增加。例如硫化镉光敏电阻在无光照射时,电阻高达几十兆欧;受到光照射时,电阻很快降到几十千欧。利用半导体的光敏性,可制成多种光电器件,用于光电控制电路中。

(3)掺杂特性:在纯净的半导体中,人为地掺入微量的杂质元素,就会使它的导电能力急剧增强。例如在纯净的半导体中掺入百万分之一的杂质,导电能力可以提高近 100 万倍。利用

半导体的掺杂特性,可制成各种半导体器件,如半导体二极管和三极管、集成电路等都由掺有特定杂质的半导体材料制成的。

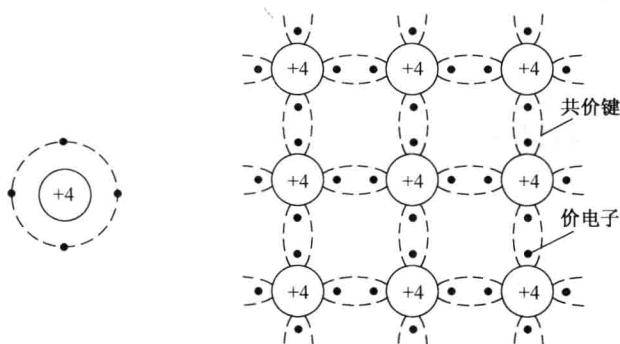
自然界中的半导体材料有:硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等。硅和锗是目前用得最多的半导体材料,由于硅和锗都是以晶体结构存在于自然界中,因此半导体二极管、三极管常称作晶体二极管和晶体三极管。

由化学元素周期表可知,硅和锗都是四价元素,即它们的原子最外层轨道上都有4个电子(称为价电子),其简化原子模型如图1-1(a)所示。由于原子呈电中性,故用带圈的+4表示原子核和内层电子所具有的正电荷,用“·”表示外围价电子。在晶体中由于相邻原子的距离很近,价电子不仅受到自身原子核的约束,而且还受到相邻原子核的吸引,使得每个价电子为相邻原子所共有,从而形成共价键,这样4个价电子与相邻的4个原子中的价电子分别组成4对共价键。图1-1(b)是硅和锗共价键结构的平面示意图。共价键中的价电子,由于受到原子核的束缚,不能在晶体中自由移动,因而也称为束缚电子,它不能参与导电。

2. 本征半导体

半导体按其是否掺入杂质来划分,可分为本征半导体和掺杂半导体。

本征半导体是一种纯净的具有晶体结构的半导体。在 $T=0$ (热力学温度零度)和没有外界激发时,由于共价键具有很强的结合力,这样本征半导体中虽然有大量的价电子,但没有自由电子,此时半导体是不能导电的,它相当于绝缘体。在常温或光照下,仅有极少数价电子可获得足够能量,从共价键中挣脱出来,变成自由电子,同时在原共价键中留下一个空位,这个空位称为空穴,如图1-2所示。由此可见,电子和空穴是成对出现的,所以称之为电子—空穴对。在本征半导体中电子和空穴的数目总是相等的,我们把在热或光的作用下,本征半导体中的价电子挣脱共价键的束缚产生电子—空穴对的现象,称为本征激发。



(a) 原子模型

(b) 共价键结构示意图

图 1-1 硅、锗的原子结构模型及共价键结构示意图

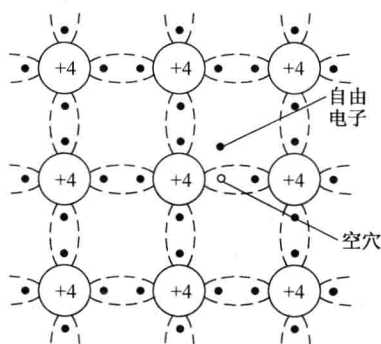


图 1-2 本征激发产生电子—空穴对

由于原子中正负电荷数目相等,所以半导体呈电中性。价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,原子因失去电子而带正电,或者说空穴带正电。

由于共价键中出现了空穴,邻近的价电子就容易填补到这个空穴上来,而使该价电子的原位置上又留下新的空穴,以后其他价电子又可填补到这个新的空穴上,这样,电子和空穴的就产生了相对移动,它们的运动方向相反。自由电子和空穴在运动中相遇会结合而成对消失,这种现象称为复合。温度一定时,自由电子和空穴的产生和复合达到动态平衡,这时自由电子和空穴的浓度为一定值。

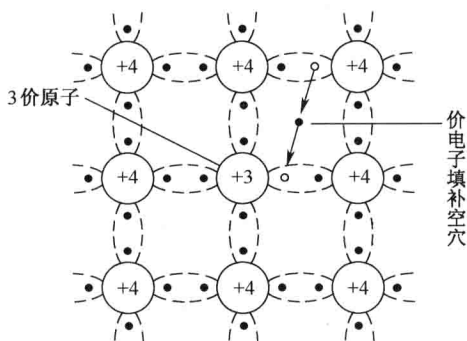
在外电场作用下,自由电子和空穴都作定向移动,自由电子的定向移动产生电子电流,空穴的定向移动产生空穴电流,两部分电流方向相同,总电流为两者之和。由此可见,本征半导体中存在两种载流子(导电粒子):电子和空穴,而导体中只有一种载流子—电子,这是半导体与导体的一个本质区别。在常温下本征半导体中载流子浓度很低,因此导电能力很弱。

3. 掺杂半导体

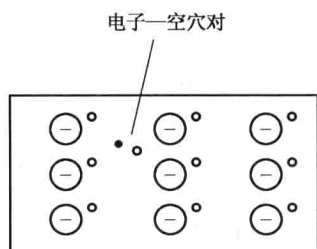
在本征半导体(纯净的硅或锗)中掺入微量的杂质,会使半导体的导电性能发生显著的变化。根据掺入不同的杂质,掺杂半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体。

(1) P 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的三价元素(如硼、镓、铟),则可构成 P 型半导体。因硼原子只有 3 个价电子,它与相邻的 4 个硅原子组成共价键时,缺少一个价电子而出现空穴。这样 P 型半导体中的载流子除了本征激发产生的电子—空穴对外,还有因掺杂而出现的空穴,如图 1-3 所示。在 P 型半导体中,空穴的数目远大于自由电子的数目,空穴为多数载流子,简称多子。而电子为少数载流子,简称少子。由于 P 型半导体主要靠空穴导电,因而又称为空穴型半导体。由于硼原子得到一个电子后电离为负离子,称为受主离子。受主离子限制在晶格内,不能移动,所以它不是载流子。



(a) P 型半导体的原子结构示意图



(b) P 型半导体简化示意图

图 1-3 P 型半导体的结构示意图

(2) N 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素(如磷、砷、锑),则可构成 N 型半导体。因磷原子有 5 个价电子,它与相邻的 4 个硅原子组成 4 个共价键时,多出的一个价电子便成为自由电子。这使得 N 型半导体中的载流子—电子和空穴的数目不再相等,自由电子的数目远大于空穴的数目,如图 1-4 所示。在 N 型半导体中,电子为多数载流子,空穴为少数载流子。N 型半导体又称为电子型半导体。由于磷原子给出一个电子后电离为正离子,称为施主离子。

掺杂半导体的导电性能主要取决于多子浓度,而多子浓度取决于掺杂浓度。少子浓度与掺杂无关,只与温度等激发因素有关。

二、PN 结

掺杂半导体增强了半导体的导电能力。但是,单一的 N 型或 P 型半导体只能起电阻的作用,还不能制成半导体器件。如果利用掺杂工艺,使同一块本征硅(或锗)的一边为 N 型半导体,另一边为 P 型半导体,那么在它们的交界面上就形成一个特殊的薄层,称 PN 结。图 1-5

为 PN 结的形成过程。利用 PN 结可制成各种不同特性的半导体器件。

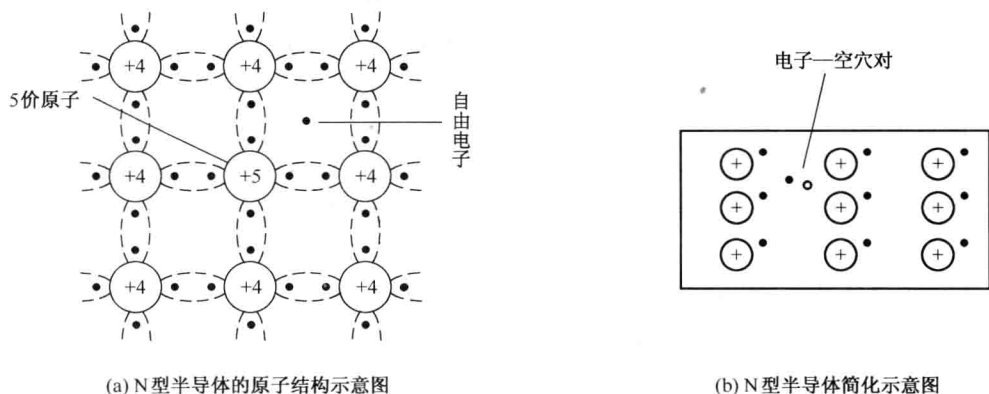


图 1-4 N 型半导体的结构示意图

1. PN 结的形成

因为 P 区的多数载流子是空穴,少数载流子是电子;而 N 区的多数载流子是电子,少数载流子是空穴。因此,P 区一侧的空穴浓度远大于 N 区的空穴浓度,而 N 区一侧的电子浓度远大于 P 区的电子浓度。由于浓度差的存在,P 区的空穴就会向 N 区扩散,N 区的电子就向 P 区扩散。于是,在 P 区和 N 区的交界面附近形成电子和空穴的扩散运动,如图 1-5 中箭头所示。由于电子与空穴在扩散过程中会产生复合,因此,在交界面靠近 P 区一侧留下一层负离子,靠近 N 区一侧留下等量的正离子。P 区和 N 区交界面两侧形成了正、负离子薄层,称为空间电荷区。

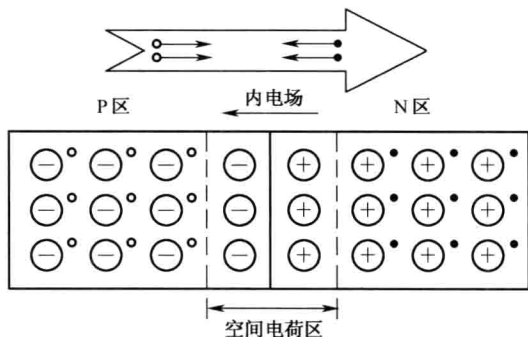


图 1-5 PN 结的形成

由于空间电荷区的出现,产生了 PN 结的内电场。内电场的方向由 N 区指向 P 区,它阻碍了多数载流子的扩散运动,却对两边的少数载流子(即 P 区的电子、N 区的空穴)向对方的漂移起到了推动作用。在扩散运动开始时,由于空间电荷区刚刚形成,内电场还很弱,扩散运动很强,而漂移运动较弱。随着扩散运动的不断进行,空间电荷区逐渐变宽,内电场不断加强,于是少数载流子的漂移运动随之增强,而扩散运动相对减弱。最后,因浓度差产生的多数载流子的扩散与电场产生的少数载流子的漂移相抵消,即扩散运动与漂移运动达到动态平衡,空间电荷区的宽度保持不变。

在空间电荷区内,由于电子和空穴几乎全部复合完了,或者说载流子都消耗尽了,因此,空间电荷区也称为耗尽层。又因为空间电荷区产生的内电场,对多数载流子具有阻碍作用,又好像壁垒一样,所以又称为阻挡层或势垒区。

2. PN 结的单向导电性

PN 结的基本特性是单向导电性,即外加正向电压时,PN 结导通;外加反向电压时,PN 结截止。

(1) 外加正向电压

当 PN 结加上正向电压,即 P 区接电源正极,N 区接电源负极,此时称 PN 结为正向偏置,

如图 1-6(a)所示。

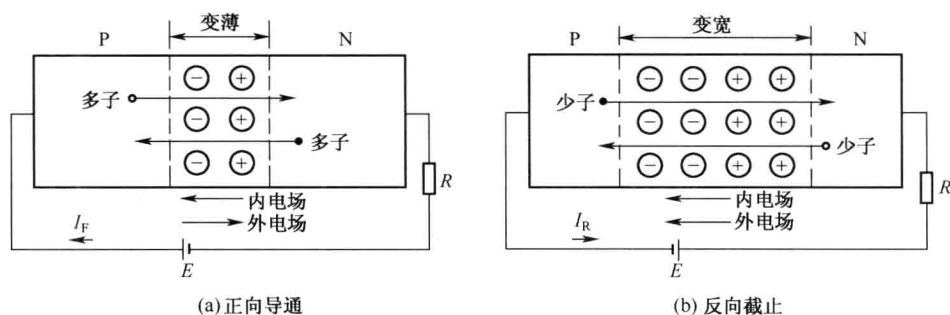


图 1-6 PN 结的单向导电性

这时外加电压产生的外电场与 PN 结的内电场方向相反,削弱了 PN 结的内电场,使空间电荷区变窄,有利于多子载流子的扩散运动,形成较大的正向电流。随着外加正向电压的增加,正向电流迅速增大,这种情况称为 PN 结的正向导通。这也意味着 PN 结的正向电阻很小。

(2) 外加反向电压

当 PN 结外加反向电压,即 P 区接电源的负极, N 区接电源的正极,此时称 PN 结为反向偏置,如图 1-6(b)所示。这时外加电压产生的外电场与 PN 结的内电场方向相同,内电场的作用增强,空间电荷区变宽,阻碍了多子载流子的扩散运动,却有助于少数载流子的漂移运动。由于是少数载流子移动形成的电流,所以反向电流很小。在常温下,由于少数载流子很有限,因而反向电流十分微弱,近似为零,所以称为反向截止。

综上所述,PN 结加正向电压时,呈现很小的电阻,正向电流较大,并随外加电压的增大而增大;而加反向电压时,呈现很大的电阻,反向电流很小,几乎为零,且几乎不随外加电压值而变化,这种正向导通、反向截止的特性就称为 PN 结的单向导电性。

第二节 半导体二极管

一、二极管的结构

在一个 PN 结的两个区分别引出电极引线,并用一定的外壳封装,就制成了半导体二极管,其结构示意图如图 1-7(a)所示。其中从 P 区引出的电极称为正极(或阳极),从 N 区引出的电极称为负极(或阴极)。二极管的电路符号如图 1-7(b)所示,箭头所指方向代表正向电流的方向。图 1-7(c)所示为几种常用二极管的外形图。

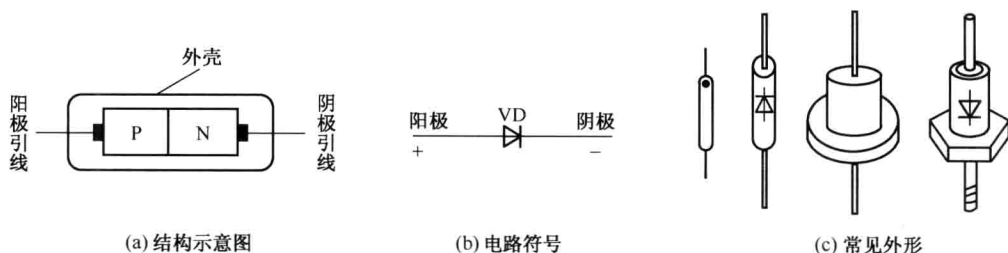


图 1-7 二极管的结构示意图和电路符号

二极管按其材料、功率大小、用途及结构等可以分成多种类型。

按所用材料可分为锗二极管、硅二极管,其中硅二极管的热稳定性比锗二极管好的多。

按功率大小可分为小功率管、大功率管。

按用途可分为普通二极管、整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、光电二极管等。

按其结构的不同可分为点接触型、面接触型和平面型 3 类,分别如图 1-8(a)、(b)和(c)所示。

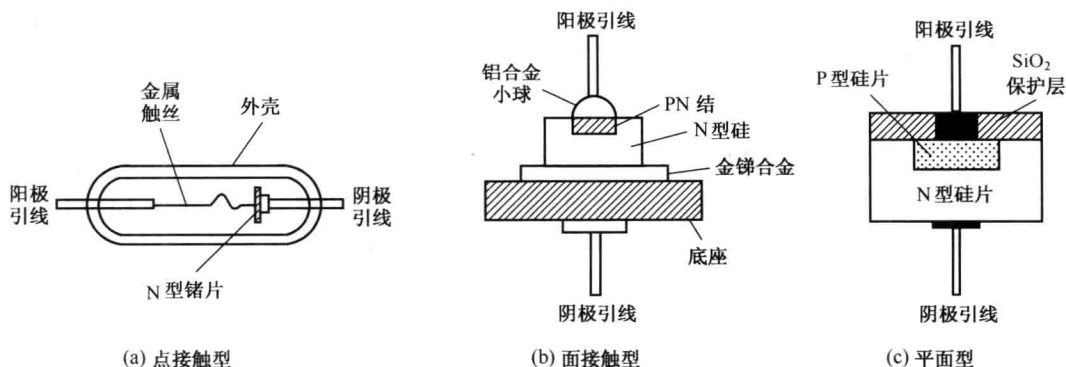


图 1-8 半导体二极管的常用结构

点接触型二极管是由一根很细的金属触丝和一块 N 型(或 P 型)硅片(或锗片)表面接触,然后正方向通以很大的瞬时电流,使触丝和晶片熔接在一起,从而形成 PN 结。其特点是结面积小,因而结电容很小,适用于较高频率(如几百兆赫兹)下工作,但不能承受高的反向电压和大的电流。主要用于高频检波器、混频器和脉冲数字电路里的开关元件,也可用于小电流整流。

面接触型二极管是采用合金法将合金小球经高温熔化在晶片上,从而形成 PN 结。其特点是结面积较大,可以承受较大的电流,因其极间电容较大,只能在较低频率下工作。主要用于电源整流。

硅工艺平面型二极管是采用高温扩散工艺形成 PN 结,是集成电路中常见的一种形式。根据工艺方法的不同,结面积可以做的较大,也可以做的较小。结面积大的二极管,可以通过较大的电流,适用于低频大功率整流电路;结面积小的二极管,适用于在数字电路中作开关管或高频整流管。

二、二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性可以通过 PN 结的单向导电性来反映。所谓伏安特性曲线,就是指二极管两端的电压与流过二极管电流的关系曲线,它能全面反映二极管的主要特点和性能,也是使用 and 选择二极管的主要依据。

1. 正向特性

正向特性是指二极管两端外加正向电压时的特性,即二极管的阳极(或 P 区)接电源正极,阴极(或 N 区)接电源负极时的特性,正向特性曲线如图 1-9 中的 A 段。当二极管外加的正向电压很小时,外电场还不足以克服内电场的作用,因此正向电流十分微弱,几乎为零,二极管呈现很大的电阻,好像有一个门坎,因此将电压 U_{TH} 称为门坎电压或死区电压。在室温下,