

国 家 工 科 电 工 电 子 教 学 基 地 教 材

电工学 II

模拟电子技术

徐安静 主编

徐安静 谭丹 陈明辉 林红 编著

清华大学出版社



国 家 工 科 电 工 电 子 教 学 基 地 教 材

电工学

II

模拟电子技术

徐安静 主编

徐安静 谭丹 陈明辉 林红 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统介绍了模拟电子技术的基本概念、原理和分析方法。主要包括：半导体基础知识、放大电路的分析方法、放大电路中的反馈、集成运算放大器的特点及应用以及振荡电路、直流电源电路的基本原理和基本分析方法。本书注重基本概念,深入浅出。书中配有大量例题,每章有小结、习题,绝大部分习题都附有答案,便于教学和自学。

本书可作为高等学校机械、交通、能源、化工、材料等各非电类专业模拟电子技术课程的教材;也可作为电类专业少学时模拟电子技术课程教学参考书;还可供有关工程技术人员参考。

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

模拟电子技术(电工学Ⅱ)/徐安静等编著. —北京:清华大学出版社,2008.6

ISBN 978-7-302-17360-1

I. 电… II. 徐… III. ①电工学—高等学校—教材 ②模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TM1 TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052777 号

责任编辑:王敏稚 李 晔

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.25 字 数:372 千字

版 次:2008 年 6 月第 1 版 印 次:2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:025260-01

(前) (言)

为满足高等学校本科非电类各专业学生学习电工、电子技术课程的需要,国内外已经出版了不少“电工学”方面的教材。这些教材对非电类学生学习电工、电子技术起到了积极有效的作用。但是,随着科学技术的飞速发展,面对学科交叉以及电类、非电类的界限越来越模糊的现状,目前包括我校在内的不少学校在许多传统非电类专业的课程设置中都有加强电工、电子课程教学内容的要求,同时在课程学时、内容安排上也有不同的调整。然而,在国内很难找到适合这种要求的教材及参考书,为此,我们编写了《电路原理与电机控制(电工学Ⅰ)》、《模拟电子技术(电工学Ⅱ)》和《数字电子技术(电工学Ⅲ)》这套教材。

本套教材内容的安排、取舍主要有4个考虑:

(1) 参照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的非电类学生电工技术课程的教学基本要求。

(2) 内容要适合高等学校非电类多学科、多专业的具体情况与教学需要。

(3) 体现本学科的成果与技术发展现状。

(4) 为学生提供一本合适的参考书。

针对非电类的教学要求和学时较少的特点,在教材编写中,对传统的教材内容进行了精选,将学生最需要的基础知识和本课程的精髓部分内容都做了一定的加深或扩充,同时力求简明扼要,便于学生学习。

《电路原理与电机控制(电工学Ⅰ)》的特点为:

(1) 加强并突出了电路原理部分的内容,使学生对电路原理的内容有更多、更深的了解与掌握。另外,增加了受控源电路模型的讨论及增加了双口网络的内容。

(2) 精简了有关电机的内容,主要讨论了异步电机而略去了直流电机和控制电机等内容,突出电机传动与控制。

《模拟电子技术(电工学Ⅱ)》的特点为:

(1) 强调了基础知识,注重应用。主要体现在对于电路的定性分析和定量计算,都是从基本概念出发,避免了为此目的而做繁杂的公式推导。

(2) 加强了集成电路的内容,对集成电路的讨论强化“外部”淡化“内部”,使教材内容更符合电子技术发展的趋势。

《数字电子技术(电工学Ⅲ)》的特点为:

(1) 加强并突出了集成门电路电气特性部分的内容,使学生在实际应用门电路时对于可能出现的各种问题有更深入的理解。

(2) 加强并突出了中规模集成电路应用的内容,这部分内容也是电子技术发展的趋势。

本套教材的编写体系既是一种尝试、探索,也是作者长期教学体会、经验的总结。编写中,我们力求把教材编写成内容丰富、重点突出、适应性强、体现发展的一套教材;既处理好重要内容、较重要内容与一般内容的关系,也处理好打好基础、面向应用与新技术介绍的关系;立足于有利于学生建立坚实基础、增强创新意识、培养实践能力;立足于有利于学生学以致用,为解决实际工程问题打下基础。

本套教材由华中科技大学电工学课程组编写,其中在《电路原理与电机控制(电工学I)》中,张鄂亮编写了第1、5、8章,李群编写了第2、3章,林红编写了第6、7、10章,张浩编写了第11章,周鑫霞编写了第13章,李承担任主编并编写了第4、9、12章。在《模拟电子技术(电工学II)》中,林红编写了第1、7章,谭丹编写了第4、5章,陈明辉编写了第6、8章,徐安静任主编并编写了第2、3章。在《数字电子技术(电工学III)》中,李承编写了第1章,张鄂亮编写了第3章,林红编写了第4、5章,杨红权编写了第7、8章,徐安静任主编并编写了第2、6章。

由于时间仓促,编者水平有限,本套教材错误与疏漏之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2008年2月

于华中科技大学

(目) (录)

章 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	3
1.2 PN 结及半导体二极管	4
1.2.1 PN 结的形成	4
1.2.2 PN 结的单向导电性	5
1.2.3 PN 结的电容效应	6
1.2.4 半导体二极管	7
1.2.5 半导体二极管的应用	10
1.2.6 稳压二极管	12
1.3 半导体三极管	14
1.3.1 三极管的结构及类型	14
1.3.2 三极管的 3 种连接方式	15
1.3.3 三极管的放大作用	15
1.3.4 三极管的特性曲线	17
1.3.5 三极管的主要参数	19
1.3.6 温度对三极管参数的影响	21
1.4 光电器件	22
本章小结	23
习题	24
章 2 章 放大电路分析	28
2.1 放大电路的主要技术指标	28
2.2 放大电路的工作原理	31
2.2.1 放大电路的组成	31
2.2.2 放大原理	32
2.3 放大电路的分析方法	34
2.3.1 放大电路的静态分析	34

2.3.2	放大电路的动态分析	37
2.3.3	静态工作点稳定电路	46
2.3.4	共集电极和共基极放大电路	50
2.3.5	3 种基本放大电路的特点和用途	54
2.3.6	多级放大电路	54
2.3.7	放大电路的频率特性简介	59
本章小结		64
习题		66
章 3 章 场效应管放大电路		72
3.1	结型场效应管	72
3.1.1	结构	72
3.1.2	工作原理	73
3.1.3	特性曲线	74
3.2	绝缘栅场效应管	76
3.2.1	N 沟道增强型 MOS 管	76
3.2.2	N 沟道耗尽型 MOS 管	79
3.3	P 沟道场效应管	80
3.4	场效应管的主要参数	81
3.4.1	直流参数	81
3.4.2	交流参数	82
3.4.3	极限参数	82
3.5	场效应管放大电路	82
3.5.1	共源极放大电路	83
3.5.2	共漏极放大电路	86
本章小结		87
习题		88
章 4 章 负反馈放大电路		91
4.1	反馈的基本概念	91
4.1.1	反馈的定义	91
4.1.2	反馈类型及判定方法	92
4.1.3	负反馈的 4 种基本组态	95
4.1.4	负反馈放大电路增益的一般表达式	99
4.2	负反馈对放大电路性能的影响	101
4.2.1	提高放大倍数的稳定性	101
4.2.2	影响输入电阻和输出电阻	102
4.2.3	展宽通频带	105
4.2.4	减小非线性失真	106

4.3	深度负反馈放大电路的指标计算	107
4.3.1	深度负反馈的特点	107
4.3.2	深度负反馈条件下放大倍数的估算	108
4.4	负反馈放大电路的自激振荡	112
4.4.1	产生自激振荡的原因及条件	112
4.4.2	负反馈放大电路的稳定判别	113
4.4.3	消除自激振荡的常用方法	115
	本章小结	115
	习题	116
章 5 章	集成运算放大器及其应用	121
5.1	集成运算放大器介绍	121
5.1.1	集成电路的特点	121
5.1.2	集成运算放大器的内部基本结构	122
5.2	直接耦合放大电路的零点漂移	122
5.3	典型差动放大电路	123
5.3.1	双端输入-双端输出	123
5.3.2	差动放大电路的 4 种接法	128
5.3.3	恒流源差动放大电路	133
5.4	集成运放中的电流源电路	134
5.4.1	镜像电流源	134
5.4.2	微电流源	135
5.4.3	电流源电路作为有源负载	136
5.5	集成运算放大器介绍	137
5.5.1	通用型集成运算放大器	137
5.5.2	集成运算放大器的电路符号和电路模型	138
5.5.3	集成运放的主要性能指标	139
5.5.4	集成运放的电路模型和电压传输特性	140
5.6	理想运算放大器	142
5.6.1	理想运算放大器的技术指标	142
5.6.2	理想运算放大器工作在线性区的特点	142
5.6.3	理想运算放大器工作在非线性区的特点	143
5.7	基本运算电路	143
5.7.1	比例运算电路	144
5.7.2	加减法运算电路	146
5.7.3	积分和微分运算电路	149
5.7.4	对数和指数运算电路	151
5.8	有源滤波电路	152
5.8.1	有源低通滤波电路	155

5.8.2 高通有源滤波电路	157
5.8.3 有源带通滤波电路	158
5.9 电压比较器	159
5.9.1 单门限电压比较器	160
5.9.2 滞回比较器	162
5.9.3 窗口比较器	165
本章小结	166
习题	167
章 6 章 信号产生电路	171
6.1 正弦波振荡电路	171
6.2 正弦波振荡电路的振荡条件	171
6.3 RC 正弦波振荡电路	173
6.4 LC 正弦波振荡电路	175
6.4.1 变压器反馈式 LC 振荡电路	175
6.4.2 三点式 LC 振荡电路	177
6.4.3 石英晶体振荡电路	179
6.5 非正弦波产生电路	181
6.5.1 矩形波产生电路	181
6.5.2 三角波产生电路	183
6.5.3 锯齿波产生电路	185
本章小结	186
习题	186
章 7 章 功率放大电路	190
7.1 功率放大电路的特点及对电路的基本要求	190
7.2 提高效率的主要途径	191
7.3 乙类双电源互补对称功率放大电路	192
7.3.1 电路组成及工作原理	192
7.3.2 分析计算	193
7.4 甲乙类互补对称功率放大电路	195
7.4.1 甲乙类双电源互补对称功率放大电路	196
7.4.2 单电源互补对称功率放大电路	196
7.4.3 复合管	197
本章小结	198
习题	199
章 8 章 直流电源	201
8.1 单相整流电路	201

8.1.1 单相半波整流电路	202
8.1.2 单相桥式整流电路	203
8.2 滤波电路	205
8.2.1 电容滤波电路	205
8.2.2 其他形式的滤波电路	208
8.3 稳压电路	209
8.3.1 稳压电路的主要指标	209
8.3.2 稳压管稳压电路	209
8.3.3 串联型稳压电路	212
8.4 集成稳压电路	215
8.4.1 集成三端稳压器的基本应用电路	215
8.4.2 扩大输出电流的电路	216
8.4.3 输出电压可调的电路	216
8.5 开关型稳压电路	217
本章小结	221
习题	221
附录 部分习题参考答案	225
参考文献	231

第 (1) 章

半导体器件

内容提要

电子电路的核心器件是半导体器件,半导体器件由半导体材料制成。本章先介绍半导体的基础知识,然后重点讨论最基本的半导体器件——二极管的物理结构、工作原理、特性曲线、主要参数及应用,最后介绍半导体三极管和光电器件。

1.1 半导体基础知识

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。

物质的导电性能取决于原子结构。导体一般为低价元素,原子中最外层轨道上的电子(价电子)数目较少,极易挣脱原子核的束缚成为自由电子。当受到外电场的作用时,这些自由电子产生定向运动形成电流,呈现较好的导电性能。绝缘体一般为高价元素,最外层电子数目接近 8 个,受到原子核的强力束缚,极不容易摆脱原子核的束缚成为自由电子,因而导电性能极差。半导体器件中使用最多的是锗半导体材料和硅半导体材料,它们都是 4 价元素,原子中最外层轨道上有 4 个电子,其简化原子结构模型如图 1.1.1 所示。最外层电子既不像导体那样极易挣脱原子核的束缚,成为自由电子,也不像绝缘体那样被原子核束缚很紧,因而导电性能介于两者之间。

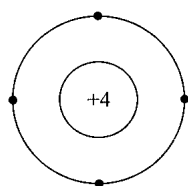


图 1.1.1 4 价元素简化原子结构图

1.1.1 本征半导体

用半导体材料制作半导体器件时,半导体要高度提纯使之制成晶体,这种纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。

在本征半导体的晶体结构中,原子按一定的规则整齐地排列,由于原子间的距离很近,价电子不仅受到所属原子核的吸引,还受到相邻原子核的吸引。这样,每一个原子的每一个价电子都与相邻原子的一个价电子组成一个电子对,为两相邻原子所共有,构成所谓共价键结构,如图 1.1.2 所示。

共价键结构使原子最外层因具有 8 个电子而处于较为稳定的状态。但共价键对电子的约束毕竟不像绝缘体那样紧,当温度升高或受到光照射时,共价键中的少数价电子因获得能

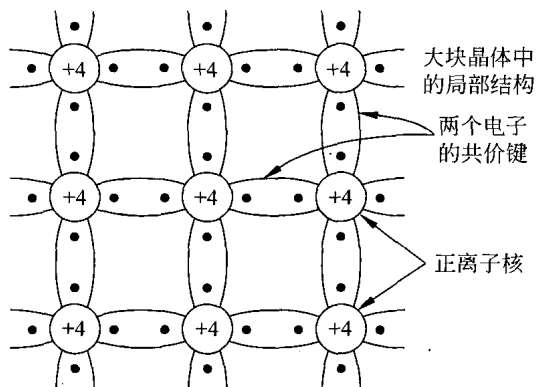


图 1.1.2 硅晶体共价键结构

量而挣脱共价键束缚成为自由电子。这种现象称为激发,如图 1.1.3 所示。价电子在挣脱共价键束缚成为自由电子之后,在共价键中留下一个空位子,称为空穴。每形成一个自由电子,就留下一个空穴。所以,在本征半导体中,自由电子和空穴总是相伴而生,成对出现,数目相等。原子是中性的,而自由电子带负电,因此,空穴显现出带正电。

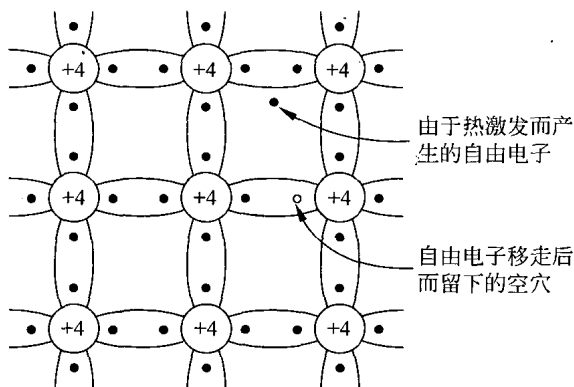


图 1.1.3 热激发产生自由电子-空穴对

在外电场力的作用下,一方面自由电子作定向运动形成电子电流;另一方面,空穴出现后,会吸引相邻原子中的价电子来填补空穴,同时出现另一个空穴,如图 1.1.4 所示,图 1.1.4 中用圆圈表示空穴。如果在 x_1 处出现一个空穴, x_2 处的价电子便可以填补到这个空穴,从而使空穴由 x_1 移到 x_2 。如果接着 x_3 处的价电子又填补到 x_2 处的空穴,这样空穴又由 x_2 移到了 x_3 。在这个过程中,价电子由 $x_3 \rightarrow x_2 \rightarrow x_1$,但仍处于束缚状态,而空穴由 $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3$ 。也就是说,空穴的移动方向和价电子移动的方向是相反的,因而可用空穴移动产生的电流来代表价电子移动产生的电流,在这里可把空穴看成是一个带正电的粒子,它所带的电量与电子相等,

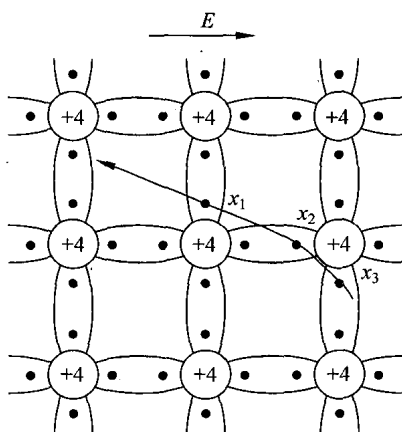


图 1.1.4 电子和空穴的移动

符号相反。因此,在半导体中同时存在着自由电子和空穴两种载流子参加导电,这是半导体导电方式的最主要的特点,也是半导体和导体在导电原理上的明显区别。

在本征半导体中,一方面由于热激发,自由电子-空穴对不断产生;另一方面,自由电子在运动过程中又会不断地与空穴重新结合而使自由电子-空穴对消失,这一相反的过程称为复合。在一定温度下,自由电子-空穴对的产生和复合达到动态平衡,即半导体载流子的浓度维持一定的水平。理论证明,本征半导体的载流子浓度随着温度的升高近似地按指数规律增加。因此,温度对半导体的导电性能影响很大。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中,由于热激发而产生的自由电子和空穴的数目是很少的,所以其导电性能很差。但是,如果在本征半导体中掺微量的杂质(某种元素)就可使半导体的自由电子或空穴的数目大量增加,因而导电性能大大增加。半导体因所掺的杂质不同,可分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

如果在硅(或锗)晶体中掺微量的 5 价元素磷(或砷、锑等),由于其数目很少,故整个晶体结构基本不变,只是某些位置上的硅原子被磷原子取代。磷原子的 5 个价电子中有 4 个与相邻的硅原子形成共价键结构,多出的一个价电子受原子核束缚很小,在室温下就可激发成为自由电子,磷原子也因此变成带正电荷的离子。磷原子由于可以提供自由电子而被称为施主原子,如图 1.1.5 所示。掺入一个磷原子就会产生一个自由电子,故掺杂后半导体的导电能力将大大增加。这种杂质半导体中自由电子的浓度远远大于空穴的浓度,故自由电子称为多数载流子,简称多子;空穴是少数载流子,简称少子。这种半导体称为 N 型半导体。

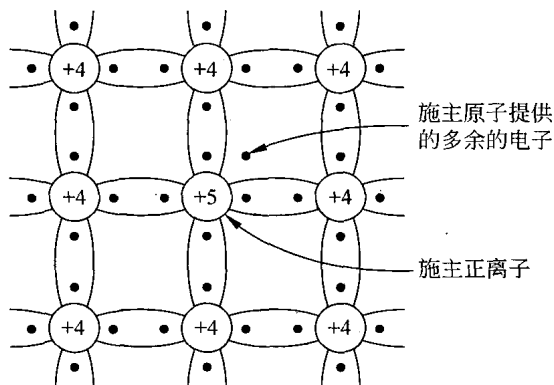


图 1.1.5 N 型半导体结构示意图

2. P 型半导体

如果在硅(或锗)中掺微量的 3 价元素硼(或铝、镓等),每一个硼原子与相邻硅原子组成

3 对共价键,同时形成一个空穴。在室温下这些空穴可以吸引邻近原子的价电子来填充,使硼原子变成带负电荷的离子,而硼原子因能吸引价电子被称为受主原子,如图 1.1.6 所示。这种杂质半导体中空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子,这样的半导体称为 P 型半导体。

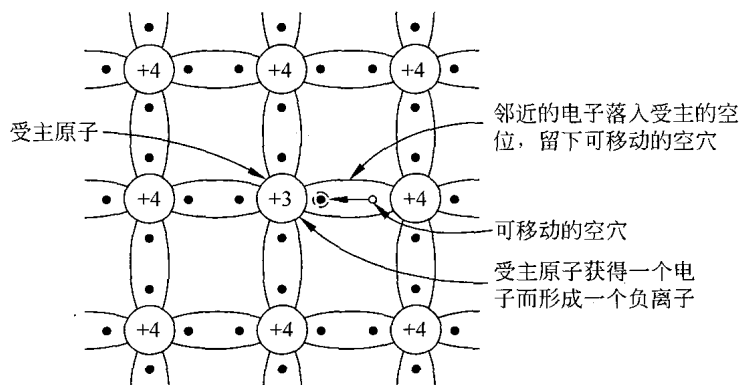


图 1.1.6 P 型半导体结构示意图

不论是 N 型半导体还是 P 型半导体,由于其原子核内、外的正、负电荷数目相同,所以就整体而言为电中性。多子的浓度取决于掺杂浓度,它对杂质半导体的导电性能产生直接的影响。少子的数目虽然很少,但它们对温度非常敏感。环境温度愈高,少数载流子数量愈多。少子浓度随温度变化的特点将影响半导体器件的稳定性。

综上所述,半导体具有以下特点:

(1) 半导体中存在着两种载流子——自由电子和空穴。因此,半导体的导电原理明显区别于导体。

(2) 在本征半导体中掺微量杂质可以控制半导体的导电能力和参加导电的主要载流子的类型。

(3) 环境的改变对半导体导电性能和稳定性有很大的影响。

了解半导体的这些特性,对了解半导体器件的工作原理及正确认识和使用它们将很有帮助。

1.2 PN 结及半导体二极管

1.2.1 PN 结的形成

如果在一块晶体的两边分别掺入不同的杂质(自由电子和空穴)使之分别形成 P 型半导体和 N 型半导体,如图 1.2.1(a)所示。由于交界面两侧载流子浓度差别很大,故多数载流子将向对方区域扩散,形成多数载流子的扩散运动。这样,在交界面的 P 型半导体和 N 型半导体的两侧分别形成一个带负电的离子层和一个带正电的离子层,从而在交界面上形成一个空间电荷区。由此产生的电场称为内电场,其方向由 N 区指向 P 区,如图 1.2.1(b)所示。内电场的存在阻挡多数载流子的扩散运动而有利于少数载流子向对方区域漂移,形

成少数载流子的漂移运动。刚开始时,扩散运动占优势,漂移运动很弱,随着扩散运动的进行,空间电荷区加宽、内电场加强,阻碍扩散运动的作用增强,同时漂移运动也随着内电场的增强而增强,最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,形成稳定的空间电荷区,即 PN 结。PN 结是构成基本半导体器件的基础。

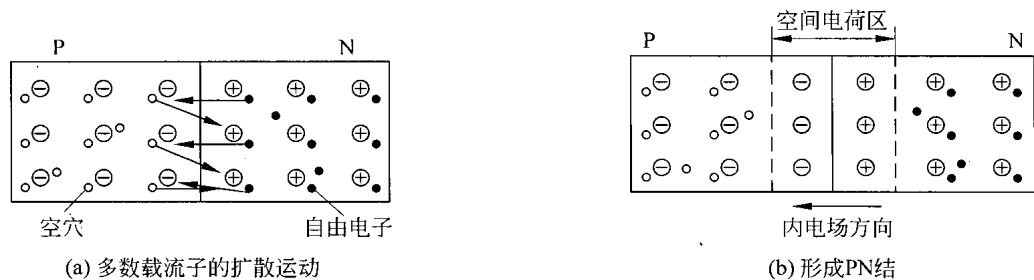


图 1.2.1 PN 结的形成

由于空间电荷区没有载流子存在,形成高阻区,故常称之为耗尽层或阻挡层。一般情况下,空间电荷区的宽度仅几微米。

1.2.2 PN 结的单向导电性

1. PN 结外加正向电压

当电源的正极接 P 区、负极接 N 区时,称 PN 结处于正向偏置(外加正向电压),如图 1.2.2(a)所示。外加正向电压产生的电场称之为外电场,其方向与内电场相反,内电场被削弱,空间电荷区变窄,有利于扩散运动而不利于漂移运动,因而扩散运动占优势。大量的多数载流子通过 PN 结形成较大的正向电流 I_F ,PN 结处于导通状态。导通时 PN 结呈现的电阻很小,此电阻称为正向电阻。

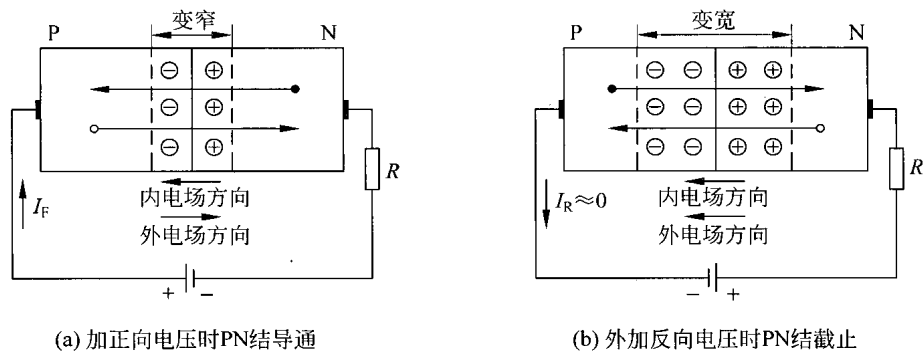


图 1.2.2 PN 结的单向导电性

2. PN 结外加反向电压

若电源的正极接 N 区、负极接 P 区,这时 PN 结处于反向偏置(外加反向电压),如图 1.1.2(b)所示。由于 PN 结承受反向电压时,外电场的方向与内电场一致,内电场被加

强,空间电荷区变宽,有利于漂移运动而不利于扩散运动,由少数载流子漂移运动形成反向电流 I_R 。由于少数载流子浓度很低 $I_R \approx 0$,可认为 PN 结处基本不导电处于截止状态,PN 结呈现的电阻很大,高达几百千欧以上称为反向电阻。在一定温度下,少子浓度不变,即使增加反向电压的幅度,电流 I_R 的大小也基本保持不变,故 I_R 称为反向饱和电流,用 I_S 表示。

综上所述,PN 结加正向电压,处于导通状态;PN 结加反向电压,处于截止状态,即 PN 结具有单向导电性。

3. PN 结的击穿

当加在 PN 结的反向电压超过某一数值(U_{BR})时,反向电流会急剧增加,这种现象称为反向击穿。PN 结的反向击穿通常可分为雪崩击穿和齐纳击穿两种情况。

不论是哪种情况的反向电击穿,只要 PN 结不因电流过大产生过热而烧毁,反向击穿与反向截止两种状态都是可逆的。即当反向电压数值降到击穿电压以下时,PN 结可以恢复到反向截止的状态。稳压二极管正是利用 PN 结反向击穿特性来实现稳压作用的。

1.2.3 PN 结的电容效应

加在 PN 结上的电压变化可影响空间电荷区的电荷变化,说明 PN 结具有电容效应。

1. 势垒电容 C_b

PN 结的空间电荷区实际上是由不能移动的正、负离子组成的,它们具有一定的电量。当空间电荷区随外加电压的变化而加宽或变窄时,PN 结上的电量相应增加或减少。这种电荷量随外加电压变化而变化的现象就是一种电容效应,称为势垒电容,用 C_b 表示。理论推导

$$C_b = \frac{dQ}{dU} = \epsilon \frac{S}{W}$$

式中, ϵ 为半导体材料的介电系数; S 为结面积; W 为阻挡层宽度。对于同一 PN 结,因其 W 随电压变化,不是常数,所以势垒电容不是一个常数。

2. 扩散电容 C_d

扩散电容 C_d 是由于 PN 结外加正向电压,多数载流子在扩散过程中引起电荷积累而产生的。当外加正向电压增加,积累电荷量亦增加,反之,电荷量减少。

势垒电容 C_b 和扩散电容 C_d 都与 PN 结的面积成正比,并且均为非线性电容。PN 结的结电容 C_j 为两者之和,即

$$C_j = C_b + C_d$$

PN 结在加正向电压时,结电容一般以扩散电容为主;加反向电压时,结电容基本上等于势垒电容。 C_j 的数值一般很小(结面积小的 PN 结的 C_j 值仅 1pF 左右,大的 C_j 值为几十至几百皮法),故只有在工作频率很高的情况下才考虑 PN 结的结电容作用。

1.2.4 半导体二极管

1. 半导体二极管的结构和符号

在PN结的两端接上电极引线并用管壳密封就构成半导体二极管。从P型半导体引出的电极称为阳极,从N型半导体引出的电极称为阴极,其符号如图1.2.3(d)所示。二极管具有单向导电性,其符号中箭头所指的方向就是正向电流的方向。

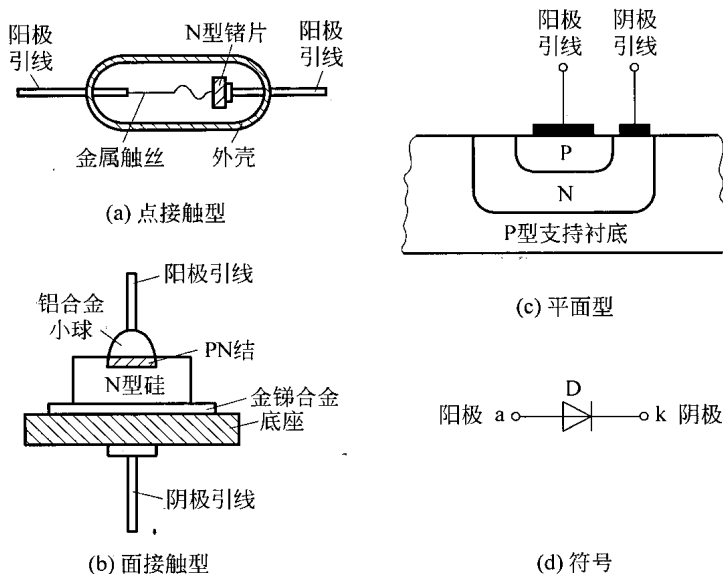


图 1.2.3 半导体二极管的符号和结构

根据内部结构的不同,二极管可分为以下3种类型:

(1) 点接触型二极管: 如图1.2.3(a)所示,由于PN结面积很小,只能通过较小的电流(几十毫安以下),但它的结电容小,适用于高频(几百兆赫兹)电路。故多用于高频信号检波、混频以及小电流整流电路中。

(2) 面接触型二极管: 如图1.2.3(b)所示,由于PN结面积大,所以允许通过较大的电流(几百毫安甚至几安),但由于结电容大,只能用于低频整流电路中。

(3) 平面型二极管: 如图1.2.3(c)所示,PN结面积小的平面二极管常用在脉冲电路中作为开关管用,结面积较大的平面管常用于大功率整流电路之中。

2. 伏安特性

伏安特性是指二极管阳极与阴极之间的电压 U 与流过二极管电流 I 的关系曲线。实测的二极管伏安特性与PN结方程曲线有一定差别。图1.2.4是硅二极管和锗二极管的实测伏安特性曲线,其特点如下。

1) 正向特性

当二极管外加的正向电压很低时,由于外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻碍作用,因而正向电流仍约为零,这一区域称为死区。当正向电压增加到某一数值