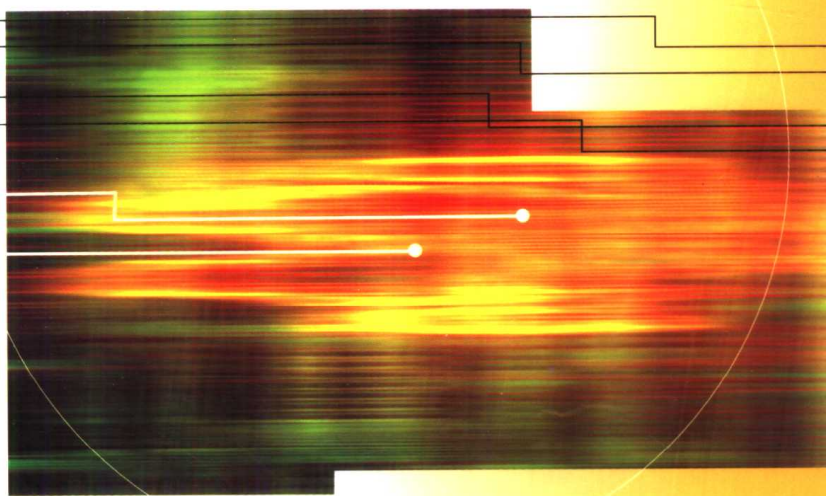




中等专业学校教材

模拟电子技术基础



◎ 湖南省化工学校 叶若华 汤光华 合编



化学工业出版社
教材出版中心

中等专业学校教材

模拟电子技术基础

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术基础/叶若华, 汤光华合编. —北京:
化学工业出版社, 2000
中等专业学校教材
ISBN 7-5025-2816-4

I. 模… II. ①叶…②汤… III. 模拟电路-电子技术-专业学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 44943 号

中等专业学校教材

模拟电子技术基础

湖南省化工学校 叶若华 汤光华 合编

责任编辑: 王丽娜

责任校对: 顾淑云

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982511

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16 字数 357 千字
2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2816-4/G·735

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书以 1996 年 5 月全国化工中专教学指导委员会颁发的《模拟电子技术基础教学大纲》为主要依据,并考虑教材改革和电子技术发展新动向编写而成。适用于中专工业企业电气化、工业仪表及自动化、计算机应用、电子技术应用等电类相近专业,作为模拟电子技术基础课程的教材。

本书的编写思想是:突出应用能力的培养,切实降低理论深度,立足工程应用,掌握发展动向,精选内容,压缩篇幅,以适应当前中专学校培养目标的需要。

由于各专业的教学时数和内容略有不同,带*的章节供选学用。本书共十章,第一、五、六、七、十章由湖南省化工学校叶若华编写,第二、三、四、八、九章由湖南省化工学校汤光华编写,“实践与应用”由天津化工学校朱凤芝编写。

本书由上海市化工学校庄慕华主审。兰州石化职业技术学院陶希平、南京化工学校曹江、徐州化工学校张书伟、泸州化工学校童建中、河北化工学校汪红、北京市化工学校刘文娟、安徽化工学校何平、常州化工学校金彦平、吉林化工学校曲长红、南宁化工学校谢兰清、天津化工学校朱凤芝、湖南省化工学校戴焰明、罗智勇等参加了本书的审稿工作。审稿人员对本书初稿提出许多宝贵意见和修改建议,并为写好本教材指出努力方向,编者在此表示衷心感谢。

在本书的编、审、出版过程中,得到全国化工中专教学指导委员会、化工出版社及许多学校领导、老师们的大力支持、指导和帮助,编者在此也表示衷心感谢。

由于编者水平和经验有限,加以时间比较仓促,难免有错误和不妥之处,殷切期望老师、同学们和广大读者给予批评指正。

编者

2000 年 5 月

**TN01
Y383**

内 容 简 介

本书内容包括：二极管整流、滤波电路；三极管、场效应管放大电路；多级放大电路；负反馈放大电路；集成运算、功率放大器和集成电压比较器应用电路；正弦波振荡电路；直流电源和晶闸管电路；模拟电子电路读图；实践与应用。书末附有计算题答案。本书图形、符号采用国家最新标准。

本书适用于中专工业企业电气化、工业仪表及自动化、计算机应用、电子技术应用等电类相近专业模拟电子技术基础课程教材。

由于本书突出应用能力的培养，切实降低理论深度，立足工程应用，故本书也适用于高等、中等职业技术学校有关专业作为《模拟电子技术基础》课程教材。



A0851465

目 录

第一章 半导体二极管及其整流电路	1
第一节 半导体的基本知识.....	1
一、本征半导体.....	1
二、掺杂半导体.....	2
三、PN 结	2
四、PN 结的单向导电性	3
第二节 半导体二极管.....	5
一、半导体二极管的结构、符号和外形.....	5
二、二极管的正向和反向伏安特性.....	5
三、二极管的主要参数.....	6
第三节 二极管的简易测试.....	7
第四节 单相整流电路.....	8
一、单相半波整流电路.....	8
二、单相全波整流电路.....	9
三、单相桥式整流电路	10
第五节 滤波电路	11
一、电容滤波电路	11
二、电感滤波电路	14
三、复式滤波电路	15
思考题与习题	17
第二章 半导体三极管及其基本放大电路	18
第一节 半导体三极管	18
一、三极管的结构、符号和类型	18
二、三极管的电流放大作用	19
三、三极管的特性曲线	21
四、三极管的主要参数	24
第二节 三极管的识别和简单测试方法	27
一、三极管管脚的识别	27
二、估测三极管电流放大系数 β	28
三、在线三极管工作是否正常的判别	29
第三节 放大电路的基本概念	29
一、放大电路的三种组态及主要性能指标	29
二、基本共射放大电路的构成	31
三、放大电路中的直流通路与交流通路	33
第四节 图解分析法	34

一、静态工作情况分析	34
二、动态工作情况分析	36
三、静态工作点与波形失真的关系	38
四、电路参数对静态工作点的影响	39
第五节 微变等效电路分析法	40
一、静态工作点的估算	40
二、微变等效电路与动态分析	41
第六节 静态工作点稳定电路	44
一、影响静态工作点稳定的主要因素	44
二、分压式偏置稳定电路	44
三、集电极-基极偏置电路	47
第七节 共集、共基放大电路及三种组态的比较	48
一、共集电路	48
二、共基电路	51
三、放大电路三种组态的比较	52
思考题与习题	53
第三章 场效应管及其基本放大电路	59
第一节 结型场效应管	59
一、结构和符号	59
二、工作原理	60
三、结型场效应管的特性曲线	62
第二节 绝缘栅型场效应管	63
一、N沟道增强型绝缘栅场效应管	63
二、N沟道耗尽型绝缘栅场效应管	66
第三节 场效应管主要参数及使用注意事项	68
一、主要参数	68
二、使用注意事项	68
三、结型场效应管的管脚判别与简易检测	69
四、场效应管与晶体三极管的比较	69
第四节 场效应管基本放大电路	69
一、场效应管的直流偏置电路和静态分析	69
二、场效应管放大电路的微变等效电路分析法	71
思考题与习题	74
第四章 多级放大电路	76
第一节 多级放大电路的级间耦合方式和分析方法	76
一、阻容耦合放大电路	76
二、直接耦合放大电路	81
三、变压器耦合放大电路	83
第二节 阻容耦合放大电路的频率特性	84
一、放大倍数(增益)的分贝表示法	84

二、单级共射 RC 耦合放大电路的频率特性	85
三、多级放大电路的频率特性	87
第三节 功率放大电路	88
一、功率放大电路的特点	88
二、基本功率放大电路	88
思考题与习题	95
第五章 负反馈放大电路	99
第一节 电压串联负反馈放大电路	99
一、基本概念	99
二、电压串联负反馈放大电路举例	101
第二节 电流串联负反馈放大电路	103
一、基本概念	103
二、闭环电压增益的计算	103
三、电流串联负反馈放大电路举例	104
第三节 电流并联负反馈放大电路	105
一、判别交流反馈类型	105
二、闭环电流增益	106
三、闭环电压增益	106
第四节 电压并联负反馈放大电路	107
一、直流负反馈稳定静态工作点	107
二、判别交流反馈类型	107
三、闭环电压增益	108
第五节 负反馈对放大电路性能的影响	109
一、提高放大倍数的稳定性	109
二、扩展频带	110
三、减小非线性失真	110
四、抑制噪声	111
五、对输入电阻和输出电阻的影响	112
第六节 负反馈放大电路应用举例	114
一、输入级	114
二、中间放大级	115
三、输出指示电路	115
四、 RC 去耦电路	115
思考题与习题	116
第六章 集成运算放大器、功率放大器和电压比较器	118
第一节 差动放大电路	118
一、双电源供电的差动放大电路	118
二、具有恒流源的差动放大电路	124
第二节 集成运算放大器的基本知识	124
一、集成运算放大器的组成框图	125

二、CF741 (F007) 集成运放简介	125
三、集成运算放大器的主要技术参数	126
第三节 集成运算放大器的线性应用	127
一、理想集成运放及其传输特性	127
二、集成运放在信号运算方面的应用	128
三、集成运放在其它方面的线性应用	136
* 第四节 集成运算放大器应用中的几个问题	141
第五节 集成功率放大器	143
一、FX0021 通用型集成功率放大器	143
二、CD4112 集成音频功率放大器	144
三、集成功率放大器的主要参数	144
四、集成功率放大器的使用方法	144
第六节 集成电压比较器	144
一、集成电压比较器的基本知识	144
二、简单电压比较器	146
三、滞回比较器 (施密特触发器)	146
* 四、窗口比较器	148
* 第七节 用电压比较器组成非正弦波发生电路	149
一、矩形波发生电路	149
二、三角波发生电路	151
三、锯齿波发生电路	153
思考题与习题	154
第七章 正弦波振荡电路	158
第一节 自激振荡的条件	158
一、振幅、相位平衡条件	158
二、自激振荡的起振过程	159
第二节 变压器反馈式 LC 振荡电路	160
一、 LC 并联电路的频率特性	160
二、 LC 选频放大电路	161
三、变压器反馈式 LC 振荡电路	161
第三节 电容和电感三点式 LC 振荡电路	163
一、电容三点式振荡电路	163
二、电感三点式振荡电路	165
第四节 RC 正弦波振荡电路	166
一、 RC 桥式正弦波振荡电路	166
* 二、 RC 移相式振荡电路	168
* 第五节 石英晶体振荡器	169
一、石英晶体谐振器的结构、等效电路及电抗频率特性	169
二、石英晶体振荡电路	171
三、石英晶体振荡器举例	172

第六节 振荡器应用举例——半导体接近开关	172
*第七节 多级放大电路自激的产生和消振方法	173
一、负反馈放大电路的自激原因和消振方法	173
二、由电源内阻引起的低频自激和消振方法	175
思考题与习题	175
第八章 直流稳压电路	177
第一节 分立元件组成的稳压电路	177
一、硅稳压管稳压电路	177
二、晶体管串联型稳压电路	182
第二节 集成稳压器及其应用电路	186
一、三端集成稳压器的分类	186
二、集成稳压器的主要参数	187
三、三端集成稳压器的应用	187
*第三节 开关型稳压电路简介	190
一、开关型稳压电路的工作原理	191
二、开关型稳压电路的特点	192
思考题与习题	193
*第九章 晶闸管及其电路	195
第一节 晶闸管的结构和工作原理	195
一、晶闸管的结构、符号	195
二、晶闸管的工作原理	196
三、晶闸管的伏安特性和主要参数	197
四、晶闸管的型号	199
第二节 单相可控整流电路	199
一、单相半波可控整流电路	199
二、单相半控桥式整流电路	200
三、感性负载与续流二极管	201
第三节 晶闸管触发电路	203
一、晶闸管对触发电路的要求	203
二、90°移相触发电路	203
三、单结晶体管触发电路	204
第四节 晶闸管的保护与简单检测	208
一、晶闸管的保护	208
二、晶闸管的简单检测	209
思考题与习题	210
*第十章 模拟电子电路读图	212
第一节 读图步骤	212
第二节 带音调控制的音频放大器	212
一、从信号传输通路划分出单元电路	212
二、单元电路的分析	213

三、整体框图.....	215
第三节 超外差式收音机电路.....	216
一、超外差式收音机工作过程简述.....	216
二、超外差式收音机电路实例.....	217
三、单元电路的分析.....	218
第四节 音频电疗机电路.....	219
一、概述.....	219
二、单元电路的分析.....	220
三、整机框图.....	222
第五节 小功率晶闸管直流调速系统.....	222
一、概述.....	222
二、小功率晶闸管直流调速系统.....	223
思考题与习题.....	226
实践与应用.....	227
一、简易整流电路的制作.....	227
二、220V 电压探测器的制作.....	227
三、场效应管构成的触摸开关.....	228
四、音频功率放大器的制作.....	229
五、简易低频信号发生器的制作.....	229
六、串联型稳压电源的制作.....	231
七、可控硅调光电路.....	231
附录.....	233
I 国产半导体器件型号命名方法 (根据国家标准 GB 249—89).....	233
II 硅整流二极管选录.....	233
III 国产部分硅稳压管参数选录.....	234
IV 国产部分半导体三极管的主要参数.....	234
V 国产部分场效应管参数选录.....	234
VI 国产半导体集成电路型号命名方法 (国家标准 GB 3430—89).....	235
VII 国产部分集成运算放大器参数选录.....	235
VIII 部分集成电压比较器主要参数选录.....	236
IX 国产部分晶闸管 (可控硅) 参数选录.....	236
X 常用阻容元件的标称值.....	236
部分常用符号说明.....	237
参考文献.....	239
习题答案.....	240

第一章 半导体二极管及其整流电路

本章先介绍半导体的基本知识,PN 结的形成及其单向导电性,半导体二极管的伏安特性和参数,然后分析几种常用的单相整流、滤波电路。

第一节 半导体的基本知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种材料,目前最常见的半导体材料是四价元素硅和锗。由于半导体的原子结构比较特殊,其外层电子既不像导体那样,在常温下也能脱离原子核的束缚成为自由电子;也不像绝缘体那样,外层电子受原子核的束缚力很大,通常是不可能成为自由电子的。

一、本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体。随着本征半导体温度升高或当其受光线照射时,某些本征半导体的外层电子获得一定能量后,就有可能挣脱原子核的束缚成为自由电子。这些自由电子在外电场作用下就会作定向运动形成半导体中的电子电流。半导体材料受热产生自由电子的过程称为“热激发”。值得注意的是:外层电子挣脱束缚成为自由电子离去后,在原来位置上因缺少一个应有的电子而出现一个空位,通常把这个空位称之为“空穴”,它期待着其它电子来填补。在外电场作用下,这种填补运动将是定向的,看起来好似空穴在作定向运动。

图 1-1 为本征半导体在外电场作用下空穴定向运动的示意图。实心小黑点“●”表示外层电子,空心小圆“○”表示空穴。图 1-1(a)表示当外加一定电压后 X 原子的一个外层电子挣脱束缚成为自由电子,同时留下一个空穴;Y 原子的一个外层电子挣脱束缚后向电源的正极运动。图(b)表示这个电子填补了 X 原子的空穴,而在 Y 原子却留下一个空穴。图(c)表示 Z 原子的一个外层电子填补了 Y 原子的空穴,而在 Z 原子留下一个空穴。这样,原来在 X 原子的一个空穴就转移到 Z 原子,并再继续下去。所以也可以把空穴看成是一种带正电的载流子,它所带的电量与电子相等,但符号相反,在外电场作用下,空穴可以在半导体中作定向运动,形成半导体中的空穴电流。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。所以说,半导体内存在两种载流子,即带正电的空穴和带负电的自由电子。应该注意,电流的方向与空穴运动方向相同,与电子运动方向相反。

本征半导体中,由热激发产生的自由电子和空穴总是成对出现,故称“电子空穴对”,所以半导体仍呈电中性。室温时,载流子数量很少,所以导电能力仍很低;只有在温度升高后,

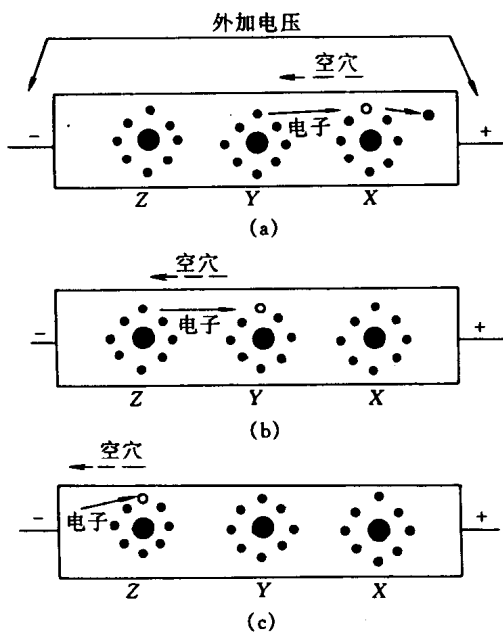


图 1-1 空穴运动示意图

载流子浓度急剧增加，导电能力才会显著增强，这是半导体的一个重要特性。

二、掺杂半导体

在本征半导体中掺入微量的杂质，就会使半导体的导电能力发生显著改变。根据所掺杂质的不同，可得到两种性质不同的半导体。

(一) N 型半导体

在半导体硅（或锗）中掺入微量五价元素磷（或锑），每个磷原子就能给出一个多余的自由电子。当磷原子给出多余的电子后，磷原子本身因失去电子而成为不能移动的正离子，所以在产生自由电子的同时并不产生新的空穴，这是不同于本征半导体的。除了磷原子给出的自由电子外，半导体本身也会产生少量的电子空穴对，但由于磷原子给出了许多额外的自由电子，所以自由电子数远远多于空穴数。通常把这种自由电子占多数的半导体称之为 N 型半导体，并把自由电子称为多数载流子，简称多子；把空穴称为少数载流子，简称少子。图 1-2 为 N 型半导体示意图。从整体而言，半导体仍呈电中性。

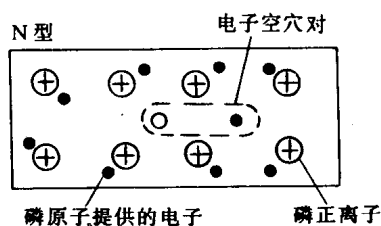


图 1-2 N 型半导体

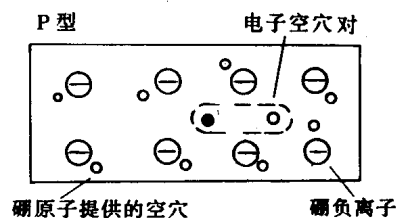


图 1-3 P 型半导体

(二) P 型半导体

在半导体硅（或锗）中掺入微量的三价元素硼（或铟），每个硼原子就留着一个空穴，期待着自由电子去填补。当邻近的外层电子填补了这个空穴后，硼原子即成为不能移动的负离子，同时在邻近产生一个空穴。所以在产生空穴的同时并不产生新的自由电子。半导体本身也会产生少量的电子空穴对。由于硼原子的掺入，空穴数远远多于自由电子数。通常把这种空穴占多数的半导体称之为 P 型半导体。图 1-3 为 P 型半导体示意图。同样，就整体而言，半导体仍呈电中性。

在 N 型和 P 型半导体中，多子是由掺杂原子产生，每一个掺杂原子就可产生一个自由电子或空穴。所以在制造时，只须控制掺杂浓度即可改变多子的数量。而少子则是半导体材料本身受热激励产生，所以少子的数量与温度有关，也和材料有关。因为硅原子核对外层电子的束缚力比锗要大得多，所以硅半导体的少子比锗要少得多。

三、PN 结

如果在一块 N 型（或 P 型）半导体上再制成一层 P 型（或 N 型）半导体，也就是说把 P 型半导体和 N 型半导体“结合”在一起，即形成一个 PN 结。

在 P 型半导体和 N 型半导体结合后，交界面两边的两种载流子浓度相差很大，N 区的电子很多而空穴极少，P 区内则相反。这样，电子和空穴都要从浓度高处向浓度低处扩散。有一些电子从 N 区向 P 区扩散，也有一些空穴从 P 区向 N 区扩散，如图 1-4 所示。由于电子和空穴都是带电的，扩散的结果使 P 区和 N 区原来的电中性状态不再存在了；P 区一边因失去空穴，留下带负电的硼离子；N 区一边因失去电子留下带正电的磷离子。离子虽然也带电，但不能任意移动，所以不参与导电。这些不能移动的正、负离子集中在交界面附近，形成一个很薄的空间电荷区，这就是通常所说的 PN 结。在这个薄层内，多数载流子已扩散到对方并复

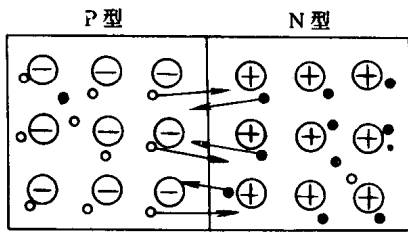


图 1-4 载流子的扩散

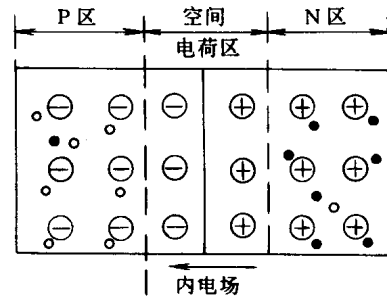


图 1-5 PN 结

合掉了，或者说消耗尽了，因此空间电荷区又可称为耗尽层，它的电阻率很高。

在空间电荷区中，由于正、负离子的存在，就形成了一个电场，其方向是从带正电的 N 区指向带负电的 P 区，如图 1-5 所示。由于这个电场是内部形成的，不是外加电压形成的，故称为“内电场”。显然，内电场对多数载流子的扩散有阻挡作用，所以空间电荷区又可看成是“阻挡层”。

另一方面，由内电场的方向可知，内电场将使 N 区内的少数载流子空穴向 P 区运动，使 P 区内的少数载流子电子向 N 区运动。通常把少数载流子在电场作用下有规则的运动称为“漂移运动”，所形成的电流称为漂移电流。由以上分析可知，漂移运动的方向正好与扩散运动的方向相反。

开始时，扩散运动占优势，随着电子和空穴的扩散，空间电荷区加宽，内电场不断增强，于是漂移运动也不断增强。当漂移运动达到和扩散运动相等时，便处于动态平衡状态。这时，两边的电子和空穴尽管还是有来有往，但扩散到对方区域多少电子或空穴，便会有同样数量的电子或空穴漂移回来，于是内电场不再增强而呈稳定状态。图 1-5 为扩散运动和漂移运动达到的平衡状态。

四、PN 结的单向导电性

(一) PN 结的反向偏置

在 PN 结两侧外加直流电压，正端与 N 区相接，负端与 P 区相接，如图 1-6 所示。由于外电场和内电场方向一致，总的电场加强了。使 PN 结 N 区边的电子受到向电源正极方向运动的作用力，P 区边的空穴受到向电源负极方向运动的作用力，于是空间电荷区加宽了。外加电压越大，耗尽层就会越宽。这种情况称之为“PN 结的反向偏置”。

PN 结在反向偏置时，由于总的电场加强，多数载流子的扩散运动不存在了，但 P 区和 N 区内由热激励产生的少数载流子会更容易越过耗尽层而形成漂移电流。也就是说，P 区内的电子和 N 区内的空穴在强电场作用下，会分别被漂移到外加电压的正端和负端，形成反向电流 I_R 。室温时，少数载流子的数量很少，这种反向电流是微小的。图 1-7 所示为锗 PN 结反向偏置时的典型伏安特性。由图 1-7 可知，只需较小的反向电压就足以使少数载流子全部越过 PN 结，以后再增加反向电压，也不会增加反向电流 I_R 。故把这时的反向电流 I_R 称为反向饱和电流，并用 I_s 表示。

反向偏置的 PN 结可用一个非常大的电阻来表示。从图 1-7 可知，若取反偏电压为 5V，相应的反向电流为 $10\mu\text{A}$ ，可得反向电阻为 $500\text{k}\Omega$ 。对于硅 PN 结而言，在相同的反偏电压作用下，相应的反向电流一般比 $1\mu\text{A}$ 还小很多，也就是说其反向电阻比 $5\text{M}\Omega$ 还大很多。所以说，PN 结在反向偏置时，耗尽层加宽，反向电阻很大，可以认为基本上是不导电的。

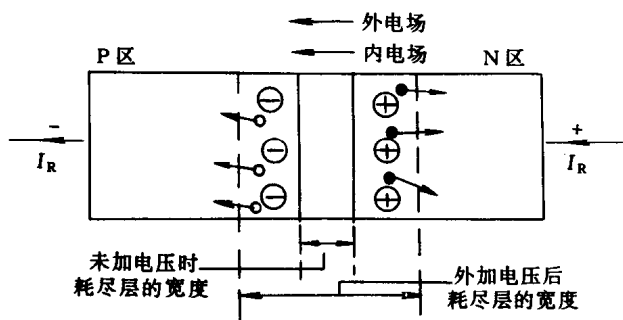


图 1-6 PN 结反向偏置

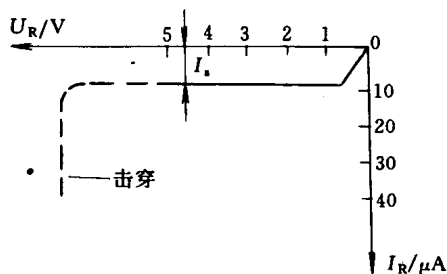


图 1-7 锗 PN 结反向偏置时典型伏安特性

反向饱和电流 I_s 虽小, 但受温度影响很大, 它是随温度上升而显著增加, 在实际使用时必须给予考虑。

(二) PN 结的正向偏置

如果把外加直流电压的正端与 P 区相接, 负端与 N 区相接, 外加电场方向与内电场方向相反, 削弱了内电场, 如图 1-8 所示。在这个外电场作用下, P 区内的多数载流子空穴和 N 区内的多数载流子电子都要向 PN 结移动。P 区的空穴进入 PN 结, 并中和了一部分负离子; N 区的电子进入 PN 结, 也中和了一部分正离子; 使空间电荷量减少, PN 结变窄, 也就是耗尽层变薄, 因而电阻减小。这种情况称之为“PN 结的正向偏置”。

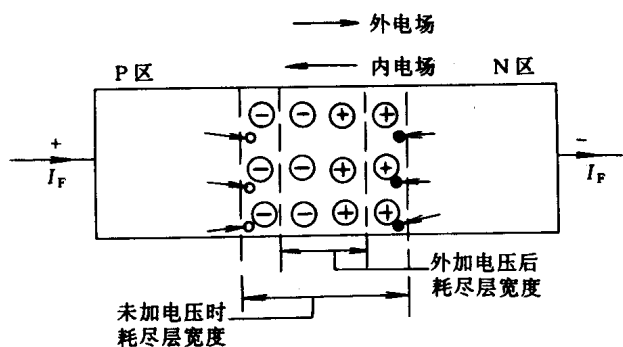


图 1-8 PN 结正向偏置

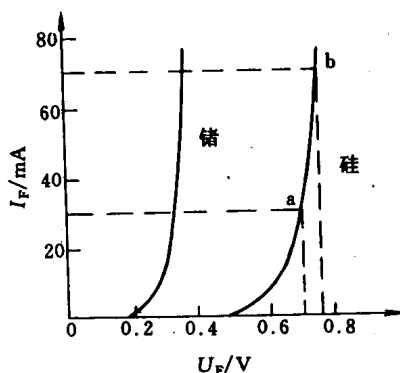


图 1-9 PN 结正向偏置时典型伏安特性

PN 结正向偏置时, 内电场被削弱, 少子的漂移运动随之减弱, 而多子的扩散运动随之加强。随着外加电压的增大, 上述现象愈加明显, 也就是说, N 区内的电子越来越多地扩散到 P 区, P 区内的空穴越来越多地扩散到 N 区, 即扩散运动将远远大于漂移运动。在外电路形成一个流入 P 区, 由多子形成的扩散电流, 称之为正向电流 I_F 。由少数载流子形成的漂移电流, 其方向与扩散电流相反, 但数值甚小, 可忽略不计。

图 1-9 为锗、硅 PN 结正向偏置下的典型伏安特性。正向电压较小时, 正向电流近似为零, 曲线中的这部分称为死区。锗、硅 PN 结的死区电压一般分别约为 0.2V 和 0.5V; 只有在超过死区电压后, 正向电流 I_F 才随着正向电压 U_F 的增加而显著增加; 也就是说, 正向电压 U_F 的微小增加就会使正向电流 I_F 有较大幅度的增大。

正向偏置的 PN 结可以用一个很小的电阻来表示。从图 1-9 可知, 硅 PN 结的 a 点, 其正向电阻 R_F 为 $\frac{0.7V}{0.03A} = 23.3\Omega$; b 点的正向电阻 R_F 为 $\frac{0.75V}{0.07A} = 10.7\Omega$ 。可见其正向电阻随正向电

压的增加而显著减少, 并非定值。锗 PN 结的正向电阻比硅 PN 结的还要小一些。

综上所述, PN 结的导电性在正向偏置和反向偏置时完全不同。正向偏置时, 耗尽层变薄, 表现为很小的电阻, 好似导体一般; 反向偏置时, 耗尽层变宽, 表现为很大的电阻, 与绝缘体相似。这个特性称之为“PN 结的单向导电性”。

第二节 半导体二极管

一、半导体二极管的结构、符号和外形

半导体二极管简称二极管, 就是在一个 PN 结两侧各接上电极引线, 并以管壳封装加固而成。P 型半导体的引出线称为阳极或正极, N 型半导体的引出线称为阴极或负极, 如图 1-10(a) 所示。图 1-10(b) 为二极管的表示符号, 箭头一边为阳极 A, 另一边为阴极 K, 箭头所指方向就是二极管正向电流 I_F 的方向。

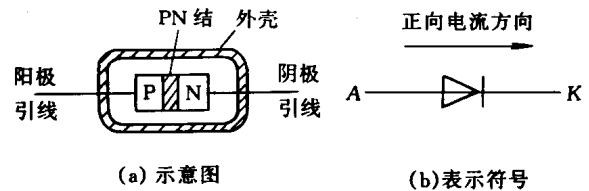


图 1-10 二极管结构示意图和表示符号

二极管有点接触型和面接触型两类结构。由于点接触型的 PN 结面积很小, 结电容很小, 适用于高频工作, 但允许通过的电流很小。面接触型的 PN 结面积大, 可通过较大的电流。

图 1-11 为常用二极管外形。小电流二极管常用玻璃壳或塑料壳封装, 大电流二极管不但尺寸较大, 而且往往需外加散热片帮助冷却; 为了能和散热片很好地配合, 其中一个电极引线制成螺栓状。许多二极管的管壳上标有符号, 即可区分出阳极和阴极。玻璃外壳的二极管上, 标着色点或黑环的一端为阴极。

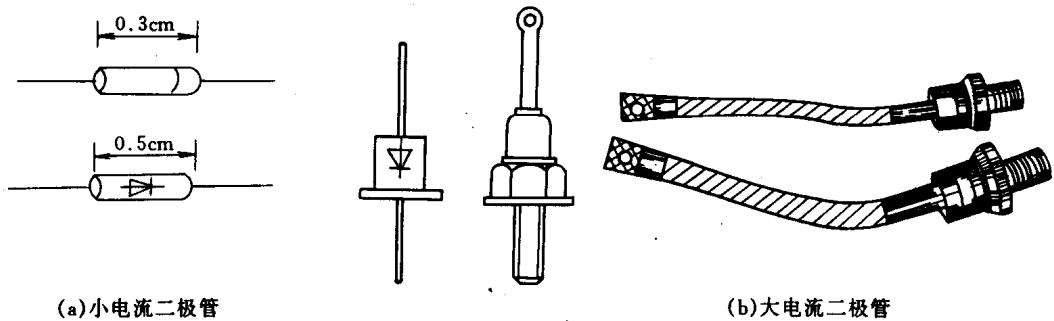


图 1-11 二极管外形图

二、二极管的正向和反向伏安特性

因为二极管的内部结构就是一个 PN 结, 所以二极管的正、反向伏安特性, 就是第一节讨论过的 PN 结正向和反向偏置时的伏安特性。现将硅、锗两种二极管正、反向的典型伏安特性重绘于图 1-12。

(一) 正向伏安特性

正向电压小于死区电压时, 外电场还很微弱, 内电场仍阻碍着多数载流子的扩散运动, 以致由扩散运动形成的正向电流很微小, 可以说基本上没有电流。当正向电压超过死区电压后, 正向电流随正向电压的增加才有显著的增加。从正向特性的陡斜段可以看出, 二极管正向电流在一个相当大的范围内变化时, 其两端电压变化却很小, 这就是通常把导通后的二极管管压降 (简称“正向导通电压”, 并用 U_{ON} 表示。) 用恒值来估算的依据; 通常硅管取 0.7V, 锗

管取 0.3V。

(二) 反向伏安特性

因为二极管的反向电流 I_R 远小于正向电流 I_F ，而反向电压 U_R 却比正向电压 U_F 要大得很多，故反向特性采用的电压、电流分度不同于正向特性。从图 1-12 可以看出，在一定的外加反向电压范围内，仅有很小的反向饱和电流 I_s ，而且几乎不随反向电压的增加而变化。只有反向电压继续增大到某值时，反向电流将剧增，这种现象称之为二极管的“反向击穿”，这时所加的反向电压值称为反向击穿电压 U_{BR} 。各类二极管的反向击穿电压大小不同，通常为几十伏到几百伏，最高可达 3000V 以上。

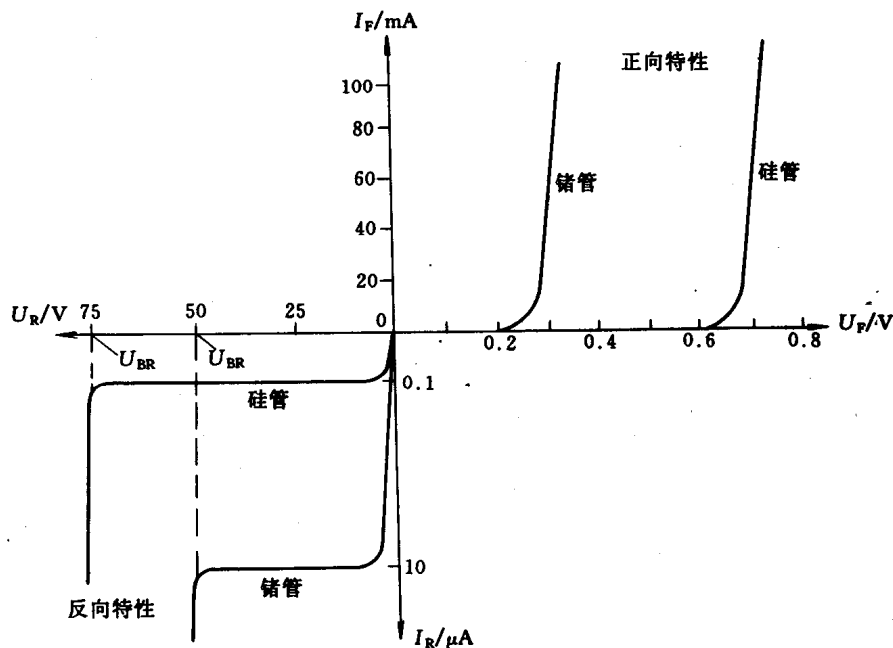


图 1-12 硅、锗二极管的典型正、反向特性

比较硅、锗两种二极管正、反向特性可知：硅二极管的正向导通电压 U_{ON} 约为 0.7V，而锗二极管约为 0.3V；硅二极管的反向饱和电流 I_s 远远小于锗二极管的反向饱和电流；而硅管的反向击穿电压 U_{BR} 却比锗管的要高一些。

需特别注意的是：二极管的正、反向特性受温度影响很大。当温度升高时，同样的正向电流，其正向导通电压会稍小一些，即正向特性曲线会左移；反向饱和电流 I_s 会随温度升高而急剧增大；实践指出，温度每升高 10°C ，其反向饱和电流约增加一倍；二极管的反向击穿电压 U_{BR} 将随温度升高而下降。

三、二极管的主要参数

二极管的参数规定了二极管的适用范围，是合理选用二极管的依据。二极管的主要参数如下。

(一) 正向平均电流 I_F

指在规定环境温度（通常为 25°C ）下，长期允许通过的最大正向平均电流值。使用时不能超过这个数值，以免过热而损坏。大电流二极管要求使用散热片，其正向平均电流是指带有规定散热片时的数值。若散热片不符合要求或环境温度过高，则实际工作电流应小于规定的正向平均电流，才能安全工作。硅二极管允许温度约为 150°C ，锗二极管约为 70°C ，所以大