

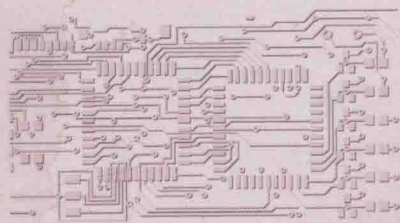


普通高等教育“十二五”规划教材

电子技术基础

DIANZI JISHU JICHU

主 编 韩东宁
副主编 秦 颖 战荫泽 李居尚



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

电子技术基础

主 编 韩东宁

副主编 秦 颖 战荫泽 李居尚



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书是非电类专业基础教材,全书共8章。主要包括模拟电子技术部分和数字电子技术部分。

本书作为应用型教材在内容上能够充分地联系实际,分析简洁,概念清晰,主要包括:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、半导体存储器 and 可编程逻辑器、数模与模数转换器。在各章节后配有习题,以便学生巩固理解所学知识。

本书适用专业较广,主要面向非电类专业的大学生,亦可供工程技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础 / 韩东宁主编. --北京:北京邮电大学出版社, 2015.3

ISBN 978-7-5635-4310-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第052279号

书 名: 电子技术基础

著作责任者: 韩东宁 主编

责任编辑: 满志文

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15

字 数: 372千字

版 次: 2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4310-6

定 价: 36.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

“电子技术基础”是一门重要的专业基础课。当今电子技术发展迅速,新器件、新技术、新应用不断涌现,为适应独立学院教学改革的需要,体现与时俱进的特点,在编写方面尽量做到浅一点、宽一点、严谨一点、先进一点,以便于学生的自学和掌握;同时也具有时代前瞻性,便于学生学习新概念和新知识。本书是在参阅大量电子技术教材的基础上,根据独立学院应用型人才培养模式的特点精心修编的。

本书共分为 8 章,主要内容包括模拟电子技术部分和数字电子技术部分。模拟电子技术部分主要围绕放大电路展开学习,放大电路是一切功能电路的基础;数字电子技术部分主要围绕组合逻辑电路和时序逻辑电路展开学习,内容丰富,重点鲜明,侧重应用。本书内容结合非电类专业特点以及授课时数编写,每节配有练习与思考,每章配有习题。

本书由长春理工大学光电信息学院韩东宁担任主编,秦颖、战荫泽、李居尚担任副主编。具体编写分工如下:韩东宁负责全书的修改和定稿,秦颖编写第 1 章、第 2 章和第 3 章;战荫泽编写第 4 章、第 5 章和第 6 章;李居尚编写第 7 章、第 8 章和前言。

韩东宁副教授作为本书的主编,对教材的内容进行了认真细致的审阅,并提出了诸多宝贵意见。本书在编写过程中参考了大量国内外资料,特此对这些文献的作者表示感谢。此外,本书得到了长春理工大学光电信息学院各级领导和相关部门的大力支持和帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现不妥之处,敬请读者指正,以便不断改进。

作 者

目 录

第 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	2
1.1.2 杂质半导体	2
1.1.3 PN 结及其单向导电性	4
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 二极管的结构及符号	6
1.2.2 二极管的伏安特性曲线	6
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.3 特殊二极管	9
1.3.1 稳压二极管	9
1.3.2 发光二极管	10
1.3.3 光敏二极管	11
1.4 半导体晶体管	11
1.4.1 晶体管的结构和类型	12
1.4.2 晶体管电流控制作用	13
1.4.3 晶体管的主要参数	16
1.5 场效应晶体管放大电路	17
1.5.1 绝缘栅型场效应晶体管的基本结构和工作原理	18
1.5.2 绝缘栅型场效应晶体管的特性曲线	20
1.5.3 绝缘栅型场效应晶体管的主要参数	21
本章小结	22
习题	22
第 2 章 基本放大电路	26
2.1 共射极放大电路	26
2.1.1 共射极放大电路组成	26
2.1.2 直流通路和交流通路	27
2.2 放大电路的静态分析	28
2.2.1 估算法	28
2.2.2 图解法	29

2.3 放大电路的动态分析	30
2.3.1 图解法的动态分析	30
2.3.2 微变等效电路的动态分析	32
习题	37
第3章 集成运算放大器及其应用	42
3.1 直接耦合放大器	42
3.2 差动放大器	43
3.2.1 典型差动放大器	43
3.2.2 差动放大器电路的工作原理	44
3.2.3 差动放大电路的输入输出方式	46
3.3 集成运算放大器简介	47
3.3.1 运算放大器的组成	47
3.3.2 集成运放的特点	48
3.3.3 集成运放的符号和参数	48
3.3.4 集成运放的电路模型与传输特性	49
3.4 集成运放电路中的负反馈	50
3.4.1 基本概念	50
3.4.2 负反馈的放大器的分类	51
3.4.3 负反馈对放大器性能的影响	56
3.5 集成运放在信号运算电路中的应用	58
3.5.1 理想运算放大器、虚短、虚断的概念	58
3.5.2 基本运算电路	59
3.6 集成运放在信号处理电路中的应用	65
3.6.1 电压比较器	65
3.6.2 有源滤波器	66
* 3.6.3 采样-保持电路	67
3.7 集成运放在信号发生电路中的应用	68
3.7.1 正弦波信号发生器(又称正弦波振荡器)	68
* 3.7.2 非正弦波信号发生器	70
3.8 集成运放的选择与使用	73
3.8.1 集成运放的选择	73
3.8.2 使用中应该注意的几个问题	73
3.9 集成运放应用实例	75
3.9.1 电桥放大器	75
3.9.2 双限温度自动控制器	76
本章小结	77
习题	78
第4章 直流稳压电源	83
4.1 整流电路	83

4.1.1 单相半波整流电路	84
4.1.2 单相桥式整流电路	84
4.2 滤波电路	87
4.2.1 电容滤波电路	87
4.2.2 电感滤波电路	89
4.2.3 复式滤波器	89
4.3 直流稳压电源	90
4.3.1 并联型稳压电路	90
4.3.2 串联型稳压电路	91
4.3.3 集成稳压器	92
4.3.4 串联开关稳压电源	97
4.3.5 采用集成 PWM 电路的开关电源	99
习题	101
第 5 章 门电路和组合逻辑电路	104
5.1 逻辑代数与逻辑函数	104
5.1.1 逻辑代数与逻辑函数概述	104
5.1.2 逻辑运算	105
5.1.3 逻辑代数的公理与定理	107
5.1.4 逻辑函数的基本定理	108
5.1.5 逻辑函数的表示方法	109
5.1.6 逻辑函数的标准形式	111
5.1.7 逻辑函数的化简	112
5.1.8 具有无关项的逻辑函数及其化简	115
5.2 逻辑门电路	116
5.2.1 半导体二极管、晶体管和场效应管的开关特性	116
5.2.2 分离元件门电路	117
5.2.3 TTL 门电路	118
5.2.4 ECL 门电路	125
5.2.5 MOS 门电路	126
5.3 组合逻辑电路的分析与设计	131
5.3.1 组合逻辑电路的结构	131
5.3.2 组合逻辑电路的分析	132
5.3.3 组合逻辑电路的设计	136
5.3.4 常用逻辑组合逻辑器件	138
5.3.5 组合逻辑器件的应用	155
习题	156
第 6 章 触发器和时序逻辑电路	161
6.1 概述	161

6.2 锁存器和触发器	161
6.2.1 基本 R-S 锁存器	161
6.2.2 同步 R-S 锁存器	163
6.2.3 D 锁存器	165
6.2.4 主从 J-K 触发器	165
6.2.5 T 触发器	167
6.2.6 维持阻塞 D 触发器	168
6.2.7 集成触发器	169
6.3 时序逻辑电路的分析与设计	170
6.3.1 概述	170
6.3.2 时序逻辑电路的分析	172
6.3.3 时钟同步状态机的设计	175
6.4 寄存器和移位寄存器	178
6.5 计数器	181
6.5.1 同步计数器	181
6.5.2 异步二进制计数器	183
6.5.3 异步 N 进制计数器	184
6.6 555 定时器及其应用	186
6.6.1 555 定时器的电路结构	186
6.6.2 555 定时器的引脚用途及工作原理	187
6.6.3 施密特触发器及由 555 定时器构成的施密特触发器	188
6.6.4 单稳态触发器及由 555 定时器构成的单稳态触发器	191
6.6.5 多谐振荡器及由 555 定时器构成的多谐振荡器	193
习题	195
第 7 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	201
7.1 半导体存储器	201
7.2 只读存储器	201
7.2.1 掩模只读存储器(ROM)	201
7.2.2 可编程只读存储器(PROM)	203
7.2.3 可擦的可编程只读存储器(EPROM)	204
7.3 随机存取存储器	206
7.3.1 静态随机存储器(SRAM)	206
7.3.2 动态随机存储器(DRAM)	207
7.4 可编程逻辑器件	210
7.4.1 可编程阵列逻辑器件	210
7.4.2 通用阵列逻辑器件	212
7.4.3 复杂可编程逻辑器件与现场可编程门阵列	212
7.5 可编程逻辑器件的开发	213
习题	213

第 8 章 数模与模数转换器	214
8.1 概述	214
8.2 数模转换器	214
8.2.1 权电阻网络数模转换器	214
8.2.2 倒 T 形电阻网络数模转换器	215
8.2.3 权电流型数模转换器	217
8.2.4 数模转换器的转换精度与转换速度	219
8.3 模数转换器	219
8.3.1 模数转换的基本原理	219
8.3.2 直接 A/D 转换器	222
8.3.3 间接 A/D 转换器	226
8.3.4 模数转换器的转换精度与转换速度	229
习题	229

半导体器件是用半导体材料制成的电子器件。常用的半导体器件有二极管、晶体管、场效应晶体管等。半导体器件是构成各种电子电路最基本的元件。本章先介绍半导体基础知识,包括半导体材料的特征,半导体中载流子的运动,阐明 PN 结的单向导电性等;然后介绍半导体二极管、稳压二极管、双极型晶体管以及场效应管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体基础知识

在物理学中,根据材料的导电能力的强弱可以将它们划分为导体、绝缘体和半导体。物质的导电性能决定于原子结构。导体一般为低价元素,例如铜、铁和铝等金属材料都是良好的导体,它们最外层电子极易挣脱原子的束缚成为自由电子,在外电场的作用下产生定向移动,形成电流;高价元素(如惰性气体)或高分子物质(如橡胶),它们的最外层电子极难挣脱原子核的束缚成为自由电子,所以导电性极差,称为绝缘体。半导体材料的两个特性:(1)温度升高或受到光照后,其导电能力会明显提高;(2)在纯净的半导体材料中掺入微量的杂质后,其导电能力会显著提高。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)。锗原子共有 32 个电子围绕着原子核旋转,最外层轨道上有 4 个电子,如图 1-1(a)所示。原子最外层轨道上的电子通称为价电子,因此硅和锗都是 4 价元素。硅的原子核如图 1-1(b)所示。为了方便起见,常常用带 +4 电荷的正离子和周围的 4 个价电子来表示一个 4 价元素的原子,如图 1-2 所示。硅和锗的最外层电子既不像导体那么容易挣脱原子核的束缚,也不像绝缘体那样被原子核束缚得很紧,因此导电性介于导体和绝缘体之间。

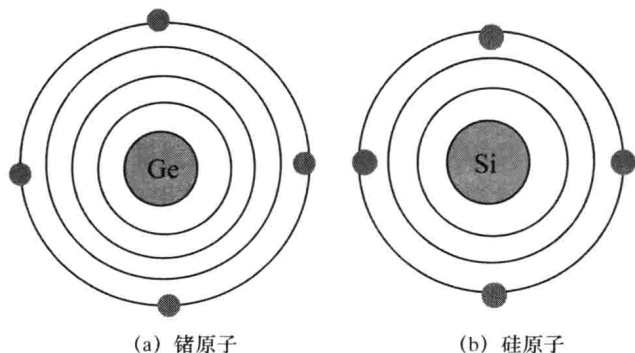


图 1-1 锗和硅的原子图

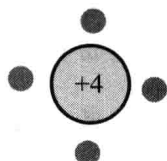


图 1-2 简化模型

1.1.1 本征半导体

将纯净的半导体经过一定工艺过程制成的单晶体,即被称为本征半导体。

1. 本征半导体的晶体结构

在硅(或锗)的晶体中,原子在空间形成规则的晶体点阵,即每个硅(或锗)原子处于四面体中心,而其他 4 个原子位于四面体的顶点,每个原子最外层的价电子,不仅受到自身原子核的束缚,同时还受到相邻原子核的吸引,因此,价电子不仅围绕自身的原子核运动,同时也出现在相邻原子核的轨道上。于是两个相邻的原子共用一对价电子,即形成了晶体中的共价键结构。如图 1-3 所示是硅晶体中共价键结构平面示意图。

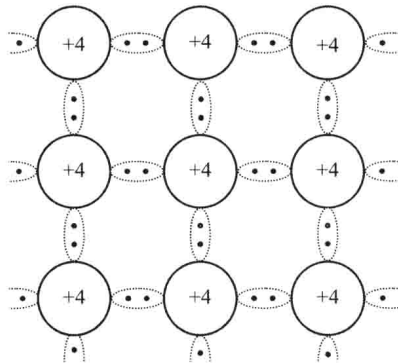


图 1-3 硅晶体中共价键结构平面示意图

2. 本征半导体中的载流子

对于本征半导体每个原子周围有四个相邻的原子,原子之间通过共价键紧密结合在一起。两个相邻原子共用一对电子。在热力学温度为零度(即 $T=0\text{K}$, 相当于 $T=-273^{\circ}\text{C}$)时,共价键的电子能量不足以挣脱共价键的束缚,因此,晶体中没有自由电子。所以,在 $T=0\text{K}$ 时半导体不能导电,就像绝缘体一样。如果温度逐渐升高,例如在室温下,由于热运动少数价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子,同时在共价键中留下一个空位,这个空位称为空穴。有了空穴,邻近共价键中的价电子很容易过来填补这个空穴,这样空穴便转移到邻近共价键中。新的空穴又会被邻近的价电子填补。带负电荷的价电子依次填补空穴的运动,从效果上看,相当于带正电荷的空穴作相反方向的运动。为了与自由电子的运动区别开来,称为空穴运动。

由此可见,本征半导体中存在着两种运载电荷的粒子,即载流子:带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴。在本征半导体中热激发产生的自由电子和空穴是成对出现的,电子和空穴又可能重新结合而成对消失,称为复合。在一定温度下自由电子和空穴维持一定的浓度。

应当指出,本征半导体的导电性能很差,且与环境温度密切相关,随温度的升高,载流子的浓度基本呈指数规律增加。半导体材料性能对温度的这种敏感性,既可用于制作光敏器件和热敏器件,也是造成半导体器件温度稳定性差的原因。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量杂质元素后的半导体称为杂质半导体。杂质半导体就会使半导体导电性能发生明显改变。因掺入的杂质不同,杂质的半导体可分为两大类:N 型半导

体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在纯净半导体硅或锗中掺入磷、砷等 5 价元素,由于这类元素的原子最外层有 5 个价电子,故在构成的共价键结构中,由于存在多余的价电子而产生大量自由电子,这种半导体主要靠自由电子导电,称为电子半导体或 N 型半导体,如图 1-4 所示。在 N 型半导体中自由电子的数量远远高于空穴的数量,因此自由电子称为多数载流子(简称多子),而其中的由热激发形成的空穴为少数载流子(简称少子)。N 型半导体主要靠自由电子导电,掺入的杂质越多,自由电子的浓度就越高,导电性能就越强。

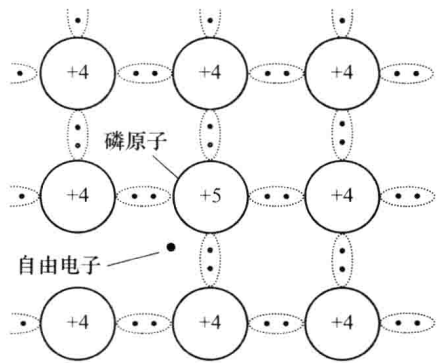


图 1-4 N 型半导体的晶体结构

2. P 型半导体

在纯净半导体硅或锗中掺入硼、铝等 3 价元素,由于这类元素的原子最外层只有 3 个价电子,故在构成的共价键结构中,由于缺少价电子而形成大量空穴,这类掺杂后的半导体其导电作用主要靠空穴运动,称为空穴半导体或 P 型半导体,如图 1-5 所示。其中空穴的数量远远多于自由电子的数量,所以空穴为多数载流子(多子),而其中由热激发形成的自由电子是少数载流子(少子)。P 型半导体主要靠空穴导电,掺入的杂质越多,空穴的浓度就越高,导电性能就越强。

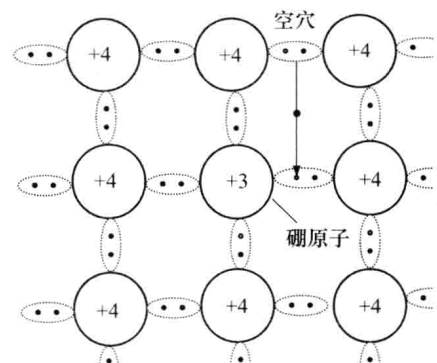


图 1-5 P 型半导体的晶体结构

在杂质半导体中,多子的浓度主要取决于掺入的杂质浓度;而少子的浓度主要取决于温度的变化。

对杂质半导体来说,无论是 N 型半导体或 P 型半导体,从总体上看,仍然保持电中性。为

为了方便起见,以后只画出其中的正离子和等量的自由电子来表示 N 型半导体;同样的只画出负离子和等量的空穴来表示 P 型半导体,分别如图 1-6 所示。

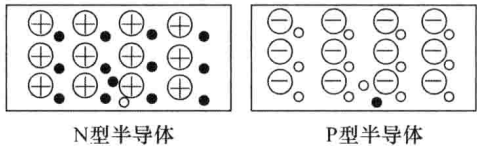


图 1-6 杂质半导体的简化表示法

1.1.3 PN 结及其单向导电性

在一块本征半导体中掺入不同杂质,一边做成 N 型,另一边做成 P 型,在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面上形成一个特殊的薄层,称为 PN 结。

1. PN 结的形成

半导体中载流子有扩散运动和漂移运动两种运动方式。在半导体中,如果载流子浓度分布不均匀,因为浓度差,载流子将会从浓度高的区域向浓度低的区域运动,这种运动称为扩散运动。在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面两侧,由于电子和空穴的浓度相差悬殊,所以 N 型区中的多子(电子)要向 P 型区扩散,如图 1-7 所示。当电子和空穴相遇时,将发生复合而消失。于是,在交界面两侧形成一个由不能移动的正、负离子组成的空间电荷区,也就是 PN 结,如图 1-8 所示。由于空间电荷区内缺少可以自由运动的载流子,所以称为耗尽层。在扩散之前,无论 P 型区还是 N 型区,从整体来说,各自都保持着电中性,因为在 P 型区中,多子(空穴)的浓度等于负离子的浓度与少子(电子)的浓度之和;而在 N 型区中,电子(多子)的浓度等于正离子的浓度与空穴(少子)的浓度之和。但是,由于多子的扩散运动,电子和空穴因复合而消失。空间电荷区中只剩下不能参加导电的正、负离子,因而破坏了 N 型区和 P 型区原来的电中性,空间电荷区的右侧(P 型区)带负电,左侧(N 型区)带正电,因此,在两者之间存在由 N 型区指向 P 型区的内电场。因为空穴带正电,而电子带负电,所以内电场的作用将阻止多子继续进行扩散;但是,这个内电场却有利于少子的运动,即有利于 P 型区中的电子向 N 型区运动, N 型区中的空穴向 P 型区运动。通常,将少子在内电场作用下的定向运动称为漂移运动。

综上所述,在 PN 结中进行着两种载流子的运动:多子的扩散运动和少子的漂移运动。在无外电场和其他激发作用下,多子的扩散运动和少子的漂移运动达到动态的平衡。

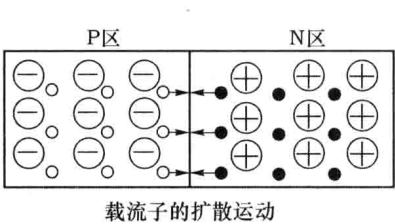


图 1-7 P 型区与 N 型区中载流子的扩散运动

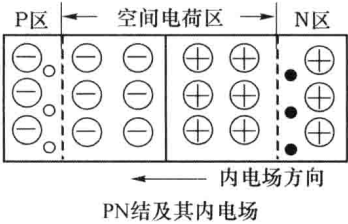


图 1-8 平衡下的 PN 结

2. PN 结的单向导电性

如果在 PN 结的两端外接电压,就将破坏原来的平衡状态。此时,扩散电流不再等于漂移电流,因而 PN 结将有电流流过。当外加电压极性不同时,PN 结表现出截然不同的导电性能,

即呈现出单向导电性。

(1) PN 结外加正向电压时处于导通状态

如图 1-9 所示,电源的正极接 PN 结的 P 区,电源的负极接 PN 结的 N 区,这种接法称为正向偏置。此时,外加电场与内电场方向相反,内电场削弱,扩散运动大大超过漂移运动,N 区电子不断扩散到 P 区,P 区空穴不断扩散到 N 区,形成较大的正向电流,这时称 PN 结处于导通状态。导通时 PN 结两端的电压只有零点几伏,所以很小的正向电压可产生很大的正向电流 I_F ,通常在回路中串入一个电阻 R 来限制电流。

(2) PN 结外加反向电压时处于截止状态

如图 1-10 所示,电源的正极接 PN 结的 N 区,电源的负极接 PN 结的 P 区,这种接法称为反向偏置。外加电场与内电场方向相同,增强了内电场,多子扩散难以进行,少子在电场作用下形成反向电流,因为是少子漂移运动(也称为漂移电流)产生的,反向电流很小,这时称 PN 结处于截止状态。

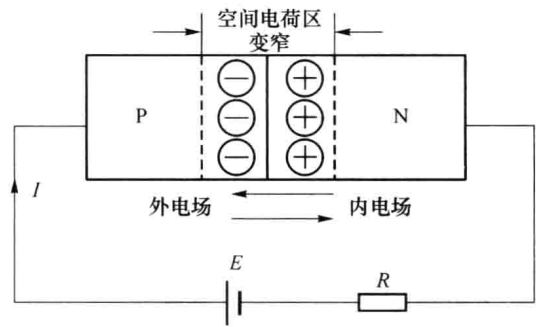


图 1-9 PN 结外加正电压时导通

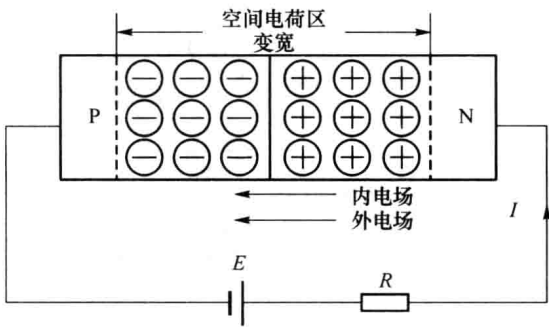


图 1-10 PN 结外加反电压时截止

由以上分析可知:PN 结具有单向导电性,即在 PN 结上加正向电压时,正向电流较大(PN 结电阻较小,处于导通状态);加反向电压时,反向电流很小(PN 结电阻很大,处于截止状态)。

(3) PN 结的伏安特性

在 PN 结的两端加电压 U ,然后测出流过 PN 结的电流 I ,电压与电流之间的关系即为 PN 结的伏安特性曲线,如图 1-11 所示。

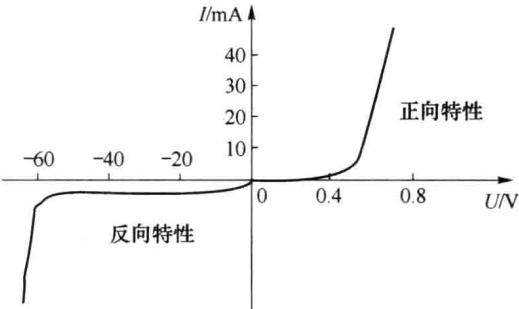


图 1-11 PN 结伏安特性曲线

【练习与思考】

1.1.1 PN 结两端存在着内电场,即有内电位差,若将二极管短路是否有电流通过?

1.1.2 空间电荷区既然是带电的正负离子形成的,为什么电阻率很高?

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构及符号

一个 PN 结加上相应的电极引线并用管壳封装起来,就构成了半导体二极管,简称二极管。半导体二极管按其结构不同可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管结构,如图 1-12(a)所示,它的特点是 PN 结面积很小,结电容很小,多用于高频检波及脉冲数字电路中的开关元件。例如,2AP1 是点接触型锗二极管,最大整流电流是 16 mA,最高工作频率 150 MHz。

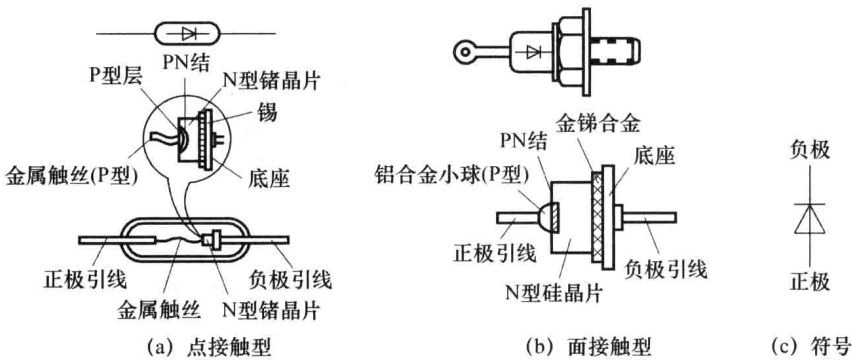


图 1-12 二极管

面接触型二极管结构,如图 1-12(b)所示,它的特点是 PN 结面积大,因而能通过较大的电流,结电容很大,只能工作在较低频率下,多用在低频整流电路中。例如,2CZ56 是面接触型硅二极管,最大整流电流 3 A,最高工作频率只有 3 kHz。

二极管的符号如图 1-12(c)所示。

1.2.2 二极管的伏安特性曲线

二极管的性能可用其伏安特性来描述。为了测得二极管的伏安特性,可在二极管的两端加上一个电压 U ,然后测出流过二极管的电流 I ,电流和电压之间的关系曲线 $I=f(U)$ 即是二极管的伏安特性,如图 1-13 所示。

其伏安特性曲线分为两部分:加正向电压时的特性称为正向特性(见图 1-13 中曲线右半部分);加反向电压时的特性称为反向特性(见图 1-13 中曲线左半部分)。

1. 正向特性

外加在二极管上的正向电压较小时,外电场不足以克服内电场对多子扩散的阻力,因此这时的正向电流几乎为零,PN 结仍处于截止状态。只有外加电压超过一定数值后,才有明显的正向电流,该电压称为死区电压。在室温下,硅管死区电压为 0.5 V,锗管约为 0.1 V。当正向电压大于死区电压时,内电场被大大削弱,电流随电压增加而增长很快。正向导通且电流不大

时,硅管压降为 $0.6\sim 0.8\text{ V}$,锗管压降为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$,如图 1-13①段所示。

2. 反向特性

图 1-13 的第②段为反向特性曲线。外加反向电压时,PN 结处于截止状态,少数载流子通过 PN 结,形成反向饱和电流。但由于少子的数目很少,所以反向电流是很小的。小功率管的反向电流一般小于 $1\text{ }\mu\text{A}$,而锗管通常为几十微安。

温度升高时由于少子的增加,反向电流将随之增加。

3. 反向击穿特性

图 1-13 的第③段为反向击穿特性曲线。当反向电压增加到一定数值时,反向电流剧增。这是由于外加电压在 PN 结中形成很强的电场,并产生大量的电子和空穴引起反向电流急剧增加,这种现象称作反向击穿。

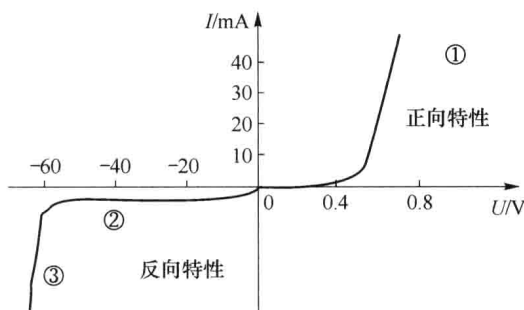


图 1-13 二极管伏安特性曲线

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的导电特性还可用参数来定量描述,它是由正确使用和合理选择二极管的依据。二极管的主要参数有下面几个。

1. 最大整流电流 I_F

这是指二极管长期运行时,允许通过的最大正向平均电流。它是由 PN 结的结面积和外界散热条件决定的。实际应用时,二极管的平均电流不允许超过此值,并要满足散热条件,否则会烧坏二极管。

2. 最高反向工作电压 U_R

这是指二极管在使用时,允许施加的最高反向电压。超过此值二极管就有发生反向击穿的危险。通常取反向击穿电压的一半作为 U_{BR} 。

3. 最大反向电流 I_R

I_R 是指在室温条件下,在二极管两端加上规定的反向电压时,流过二极管的反向电流。通常希望 I_R 值越小越好。反向电流越小,说明二极管反向导电性越好。此外,由于反向电流是由少子形成的,所以 I_R 受温度的影响很大。

4. 最高工作频率 f_M

f_M 值主要取决于 PN 结结电容的大小。结电容越大,则二极管允许的最高工作频率越低。

【例 1-2-1】 二极管构成的限幅电路如图 1-14 所示, $R=1\text{ k}\Omega$, $U_{\text{REF}}=2\text{ V}$, 输入信号为 u_i 。

(1) 若 u_i 为 4 V 的直流信号, 分别采用理想二极管模型, 理想二极管串联电压源模型, 计算电流 I 和输出电压 u_o 。

解: ①采用理想二极管模型分析

$$\begin{aligned} I &= \frac{u_i - U_{\text{REF}}}{R} \\ &= \frac{4\text{ V} - 2\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 2\text{ mA} \\ u_o &= U_{\text{REF}} = 2\text{ V} \end{aligned}$$

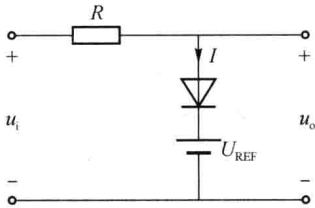
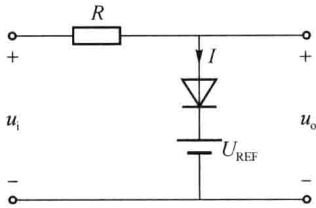


图 1-14

② 采用理想二极管串联电压源模型分析

$$\begin{aligned} I &= \frac{u_i - U_{\text{REF}} - U_D}{R} \\ &= \frac{4\text{ V} - 2\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 1.3\text{ mA} \\ u_o &= U_{\text{REF}} + U_D \\ &= 2\text{ V} + 0.7\text{ V} = 2.7\text{ V} \end{aligned}$$

(2) 如果 u_i 为幅度 $\pm 4\text{ V}$ 的交流三角波, 波形如图 1-15(a)、(b) 所示, 分别采用理想二极管模型和理想二极管串联电压源模型分析电路并画出相应的输出电压波形。



解: ①采用理想二极管模型分析

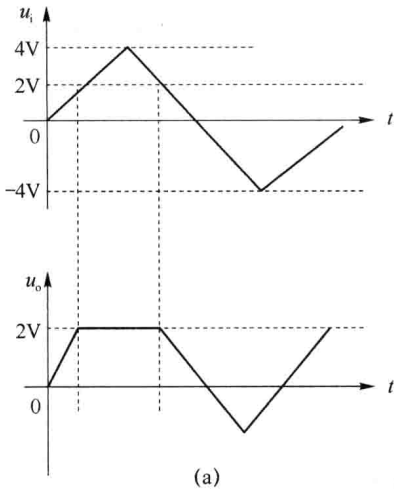


图 1-15