

高 等 学 校 教 材

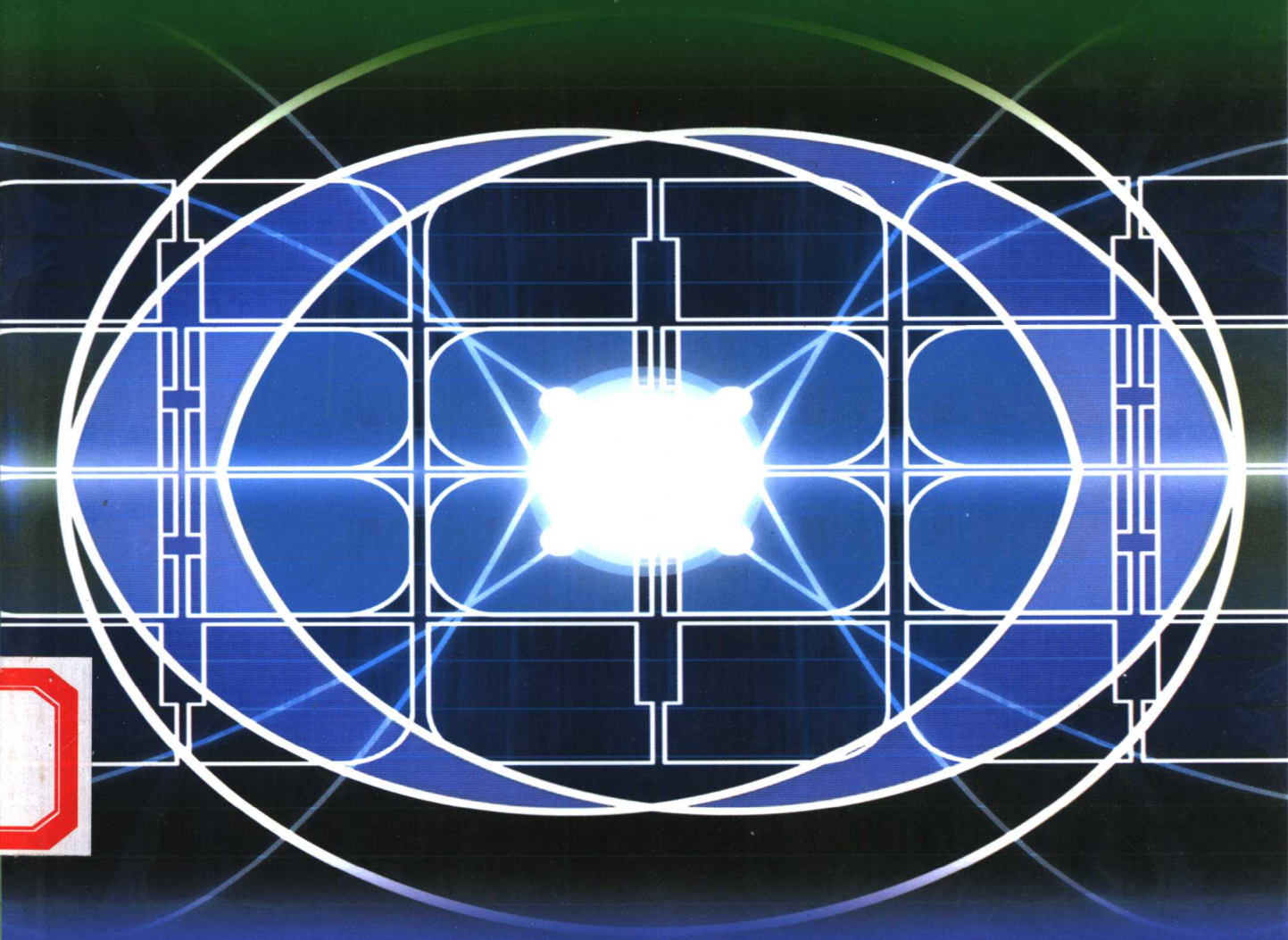


电子技术

DIANZI JISHU

(电工学Ⅱ)

主编 王乃成 副主编 李良洪 主审 张宪



国防工业出版社

电 子 技 术

(电工学 II)

王乃成 主 编
李良洪 副主编
张 宪 主 审

国 防 工 业 出 版 社

·北京·

内 容 简 介

本书是依据教育部颁发的“高等学校工科非电类电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”编写的。全书分模拟电子技术和数字电子技术两大部分,内容有:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管及可控整流电路、数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形电路、数/模和模/数转换器,共十一章。本书注重基础、突出重点、概念清楚、通俗易懂,例题、习题选配得当。全书力求反映电子技术理论性、应用性、实践性的特点。

本书可作为高等学校工科非电类各专业学生的教材或参考书,亦可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术(电工学Ⅱ)/王乃成主编. —北京:国防工业出版社,2003.9

ISBN 7-118-03191-7

I. 电... II. 王... III. ①电工学—高等学校:技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学校—教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 048096 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 3/4 311 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:19.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《电子技术》编委会

主 编	王乃成			
副 主 编	李良洪			
参编人员	李长安	于振瑞	付兰芳	林秀珍
	赵慧敏	安 居	孙 昱	李志勇
	曾锐利	叶金岭	付少波	罗 批
主 审	张 宪			

前言

本书是根据教育部颁布的“高等学校工科非电类电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”编写的,可作为高等院校工科非电类教材或教学参考书。

本书与张宪主编的《电工技术(电工学Ⅰ)》相配套,为“电工学”课程教材,亦可作为《电子技术》教材单独使用。本教材参考学时为 50~60 学时。对于少学时专业采用本书时,可根据实际需要删减部分内容。

“电子技术”是非电专业的一门重要技术基础课。随着电子器件和信息技术的飞速发展,电子技术已渗透到非电专业的各个领域。因此,教材中我们既强调了基本理论、基本知识和基本技能,也注意到了知识面的拓宽和更新,力求处理好以下几个关系:

1. 传统内容和知识更新的关系。利用分立元件电路讲述基本概念和原理,做到少而精,重点介绍集成电路的特点和应用。

2. 器件与电路的关系。对于器件主要介绍其外部特性及使用方法,不必过分地追究其内部机理。重点在于电路工作原理的分析和应用实践。

3. 模拟电路与数字电路的关系。适度删减模拟电路的内容,突出重点,奠定基础;增大数字电路的比重,以适应实际工作的需要。

4. 理论学习与素质培养的关系。在加强“三基”的同时,注意素质的培养,尤其是例题、习题的选择中,增加了实用小电路,以提高分析问题、解决问题的能力。

学习“电子技术”这门课程,除深入理解书中介绍的内容外,还必须做到理论与实践密切结合,通过实践巩固、深化课程内容,通过实践培养独立的创造精神、解决问题的实际技能、严谨的工作作风。

在此,对所有为本教材进行审阅并提出宝贵意见以及在编写、出版过程中给予热情帮助和支持的同志们,一并表示衷心的感谢。

由于编者的学识有限,加之时间仓促,书中必然存在一些缺点和错误,恳切希望使用本书的读者给予批评、指正。

编者

目 录

第一章 半导体器件	1
第一节 半导体基本知识	1
一、本征半导体	1
二、P 型半导体和 N 型半导体	2
三、PN 结及其单向导电性	2
第二节 半导体二极管	4
一、基本结构	4
二、伏安特性	4
三、主要参数	5
第三节 稳压管	6
第四节 半导体三极管	7
一、基本结构	7
二、电流放大作用	8
三、三极管的特性曲线	9
四、主要参数	10
第五节 场效应晶体管	11
一、N 沟道增强型绝缘栅场效应管	12
二、N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	14
三、场效应晶体管的主要参数	15
习题一	16
第二章 基本放大电路	19
第一节 三极管放大电路的组成及工作原理	19
一、单管放大电路的组成	19
二、放大电路的工作原理	20
第二节 放大电路的静态分析	21
一、估算法	21
二、图解法	21
第三节 放大电路的动态分析	22
一、图解分析法	22
二、小信号模型分析法	25
第四节 静态工作点的稳定	28

一、温度对静态工作点的影响	28
二、工作点稳定的放大电路	28
第五节 射极输出器	31
一、静态分析	31
二、动态分析	32
第六节 场效应管放大电路	33
一、静态分析	33
二、动态分析	34
第七节 多级放大电路	36
一、多级放大电路的耦合方式	36
二、阻容耦合放大电路的分析	37
三、放大电路的频率特性	38
第八节 功率放大电路	39
第九节 差分放大电路	41
一、直接耦合放大电路的特点	41
二、差分放大电路的工作原理	42
三、差分放大电路的输入输出方式	44
第十节 集成运算放大器	44
一、集成运算放大器的组成	45
二、集成运算放大器的主要参数	45
三、集成运算放大器的电压传输特性	46
第十一节 负反馈放大器	47
一、负反馈的基本概念	47
二、负反馈的类型及判别	48
三、负反馈对放大电路性能的影响	49
习题二	51
第三章 集成运算放大器的应用	56
第一节 基本运算电路	56
一、比例运算电路	56
二、加法运算电路	58
三、减法运算电路	59
四、积分运算电路	60
五、微分运算电路	61
第二节 测量放大器	61
第三节 信号处理电路	62
一、滤波电路	62
二、采样保持电路	66
三、电压比较器	66

第四节 正弦波振荡器	68
一、反馈放大器自激振荡的条件	68
二、正弦波振荡器的构成	69
三、RC 振荡器	69
习题三	70
第四章 直流稳压电源	75
第一节 整流电路	75
一、单相半波整流电路	75
二、单相桥式整流电路	77
三、三相桥式整流电路	78
第二节 滤波电路	80
一、电容滤波电路	80
二、电感滤波电路	81
三、复合滤波电路	82
第三节 稳压管稳压电路	82
第四节 串联型晶体管稳压电路	83
第五节 集成稳压电源	84
习题四	86
第五章 晶闸管及可控整流电路	89
第一节 晶闸管	89
一、基本结构	89
二、工作原理	90
三、伏安特性	91
四、主要参数	92
第二节 可控整流电路	93
一、单相半波可控整流电路	93
二、单相半控桥式整流电路	96
第三节 单结晶体管触发电路	97
一、单结晶体管	98
二、单结晶体管振荡电路	99
三、单结晶体管触发电路	100
第四节 晶闸管的保护	101
一、晶闸管的过电流保护	101
二、晶闸管的过电压保护	102
第五节 晶闸管的应用举例	102
一、晶闸管延时继电器	103
二、晶闸管调光电路	103
三、双向晶闸管的应用	104

习题五	105
第六章 数字电路基础	107
第一节 概述	107
第二节 逻辑代数的基本运算	108
一、与逻辑和与运算	108
二、或逻辑和或运算	109
三、非逻辑和非运算	109
第三节 逻辑代数的基本运算规则和定律	109
一、基本运算规则	109
二、交换律	110
三、结合律	110
四、分配律	110
五、吸收律	110
六、反演律(摩根定律)	110
第四节 逻辑函数的表示方法	111
一、真值表	111
二、逻辑表达式	111
三、逻辑图	112
四、卡诺图	112
第五节 逻辑函数的代数化简法	112
一、并项法	112
二、吸收法	113
三、消去法	113
四、配项法	113
第六节 逻辑函数的卡诺图化简法	114
一、逻辑函数的最小项	114
二、逻辑函数最小项的卡诺图	114
三、用卡诺图化简逻辑函数	115
习题六	117
第七章 逻辑门电路	118
第一节 分立元件门电路	118
一、二极管与门电路	118
二、二极管或门电路	119
三、三极管非门电路	120
第二节 TTL集成门电路	121
一、TTL与非门电路	121
二、TTL三态与非门电路	124
第三节 MOS门电路	125

一、NMOS 门电路	125
二、CMOS 门电路	126
习题七	127
第八章 组合逻辑电路	131
第一节 组合逻辑电路的分析和设计方法	131
一、组合逻辑电路的分析方法	131
二、组合逻辑电路的设计方法	132
第二节 加法器	134
一、半加器	134
二、全加器	134
三、多位加法器	135
第三节 编码器	136
一、二进制编码器	136
二、二—十进制编码器	137
三、优先编码器	139
第四节 译码器	139
一、二进制译码器	139
二、二—十进制译码器	140
三、显示译码器	141
第五节 数据选择器和数据分配器	143
一、数据选择器	143
二、数据分配器	144
第六节 存储器和可编程逻辑器件	145
一、存储器	145
二、可编程逻辑器件	146
习题八	147
第九章 时序逻辑电路	150
第一节 触发器	150
一、基本 $R-S$ 触发器	150
二、同步 $R-S$ 触发器	151
三、主从 $J-K$ 触发器	153
四、其他类型的触发器	155
第二节 寄存器	157
一、数码寄存器	157
二、移位寄存器	157
三、集成电路寄存器	159
第三节 计数器	161
一、二进制计数器	161

二、十进制计数器	164
三、任意进制计数器	166
四、集成电路计数器	168
习题九	171
第十章 脉冲波形的产生和整形电路	176
第一节 单稳态触发器	176
一、微分型单稳态触发器的工作原理	176
二、主要参数	178
第二节 多谐振荡器	178
第三节 集成 555 定时器	180
一、电路的组成及工作原理	180
二、555 定时器组成单稳态触发器	181
三、555 定时器组成多谐振荡器	183
习题十	185
第十一章 数/模和模/数转换器	189
第一节 数/模转换器(DAC)	189
一、倒 T 型电阻网络 DAC	189
二、DAC 的主要参数	191
三、集成电路 DAC	191
第二节 模/数转换器(ADC)	193
一、逐次逼近型 ADC	193
二、主要参数	196
三、集成电路 ADC	196
习题十一	198
附录一 半导体分立器件型号命名法	200
附录二 常用半导体器件的参数	201
附录三 半导体集成电路型号命名法	204
附录四 常用半导体集成电路的参数	205
附录五 电阻器和电容器的标称值	207
参考文献	210

第一章 半导体器件

常用的半导体器件有半导体二极管、三极管、场效应晶体管及集成电路等。半导体器件是构成各种电子电路最基本的元器件。学习电子技术,必须首先了解和掌握半导体器件的基本结构、工作原理、特性和参数。本章主要介绍二极管、三极管和场效应晶体管的特性及使用方法。

第一节 半导体基本知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,如硅、锗、硒、砷化镓和一些氧化物、硫化物等。

一、本征半导体

常用的半导体材料是硅和锗,它们都是具有共价键结构的四价元素。因此,纯净的半导体具有晶体结构,我们把具有晶体结构的纯净半导体称作本征半导体。

在本征半导体中,当价电子获得一定的能量(温度升高或受光照)后,即可挣脱原子核的束缚而成为自由电子。价电子成为自由电子的同时,共价键中就留下一个空位,称为空穴。由于中性原子失去一个电子而带正电,因此,可以认为空穴是带正电的。自由电子和空穴总是成对出现的,称为电子空穴对。半导体中产生电子空穴对的过程叫本征激发。

自由电子带负电,空穴带正电,统称载流子。在外电场作用下,自由电子逆着电场方向运动而形成电子电流;空穴顺着电场方向运动而形成空穴电流。这两个电流的实际方向是相同的。所以通过半导体的电流是自由电子和空穴两种载流子的运动形成的。这是半导体导电与金属导体导电机理上的本质区别。

环境条件的变化会影响半导体材料的导电能力,主要体现在以下几个方面。

1. 热敏性

环境温度对半导体的导电能力影响很大,温度升高,本征激发增强,产生的电子空穴对就增多,导电能力就增强。根据半导体材料的热敏特性,可制成热敏电阻和其他温度敏感元件。

2. 光敏性

一些半导体材料受到光照时,本征激发增强,载流子数量增加,导电能力亦随之增强。利用半导体的光敏性,可制成光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等光敏器件。

3. 掺入杂质可改变半导体的导电性能

在半导体中掺入微量其他元素称作掺入杂质,简称掺杂。掺杂后的半导体导电能力有很大的提高。

二、P 型半导体和 N 型半导体

1. P 型半导体

在纯净的半导体中掺入微量的三价元素，例如硼元素，硼原子取代硅（或锗）原子的位置并与邻近硅（或锗）原子形成共价键时，因缺少一个电子而形成一个空穴，如图 1-1 所示。因此掺入三价元素的半导体，空穴的总数远大于自由电子，空穴成为多数载流子，自由电子成为少数载流子。这种半导体主要靠空穴导电，称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。

2. N 型半导体

在纯净的半导体中掺入微量五价元素，如磷元素，在构成共价键结构中，由于存在多余的价电子而产生大量的自由电子，如图 1-2 所示。因此，掺入五价元素的半导体，自由电子的总数远大于空穴，自由电子成为多数载流子，空穴成为少数载流子。这种半导体主要靠自由电子导电，称为电子型半导体，简称 N 型半导体。

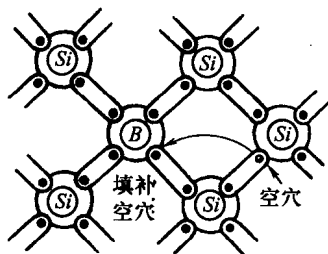


图 1-1 硅晶体中掺硼出现空穴

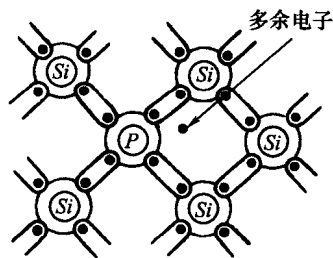


图 1-2 硅晶体中掺磷出现自由电子

在掺杂半导体中，虽然两种载流子的数目不等，但整块半导体中的正、负电荷仍相等，保持电中性。

三、PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

采用适当的工艺把 P 型半导体和 N 型半导体做在同一基片上，两种半导体之间便形成了一个界面。由于界面两侧存在着电子和空穴浓度的差异，N 型半导体中的自由电子要向 P 型半导体中扩散，同样，P 型半导体中的空穴也向 N 型半导体中扩散，如图 1-3(a) 所示。多数载流子扩散到对方区域后被复合而消失，但在界面两侧分别留下了不能移动的正、负离子，呈现出一个空间电荷区，如图 1-3(b) 所示。这个空间电荷区就称作 PN 结。由于 PN 结内的载流子因扩散和复合消耗殆尽，故又称为耗尽层。

PN 结内在 N 区一侧是正电荷，在 P 区一侧是负电荷，由此而产生一个方向由 N 区指向 P 区的内电场，如图 1-3(b) 所示。内电场对多数载流子的扩散运动起着阻碍作用，但对少数载流子运动起着推动作用。少数载流子在内电场作用下的运动称为漂移运动。在无外电场作用的情况下，扩散运动和漂移运动达到动态平衡，PN 结的宽度保持一定，而处于稳定状态。

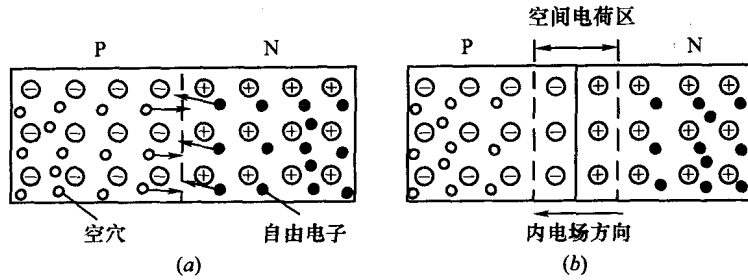


图 1-3 PN 结的形成

(a) 多数载流子的扩散; (b) 空间电荷区。

2. PN 结的单向导电性

在 PN 结两端加上不同极性的电压, PN 结便会呈现不同的导电性能。PN 结上外加电压的方式称为偏置方式, 所加电压称为偏置电压。

(1) PN 结外加正向电压导通

将 PN 结的 P 区接电源正极, N 区接电源负极, 即 PN 结处于正向偏置时, 外加电场方向和内电场方向相反, 削弱了内电场的作用, 从而破坏了原来的平衡, 空间电荷区变窄, 多数载流子的扩散运动大大超过了少数载流子的漂移运动, 形成较大的扩散电流。这时 PN 结所处的状态称为正向导通, 如图 1-4 所示。正向导通时, 通过 PN 结的正向电流较大, 即 PN 结呈现的正向电阻很小。

(2) PN 结外加反向电压截止

当 PN 结的 P 区接电源的负极, N 区接电源的正极, 即 PN 结处于反向偏置时, 外加电场方向与 PN 结内电场方向一致, 使空间电荷区变宽, 多数载流子的扩散几乎难以进行, 少数载流子的漂移运动则得到加强, 从而形成反向漂移电流。由于少数载流子浓度极小, 故反向电流很微弱。这时 PN 结所处的状态称为反向截止, 如图 1-5 所示。反向截止时, 通过 PN 结的电流很小, PN 结呈现的反向电阻很大。

单向导电性是 PN 的重要特性, 也是晶体二极管、三极管等半导体器件导电特性的基础。

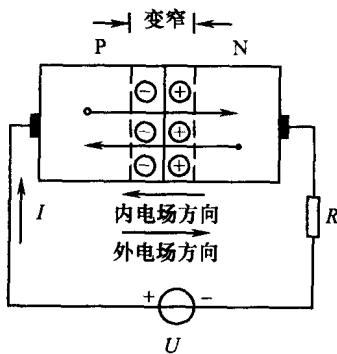


图 1-4 PN 结加正向电压

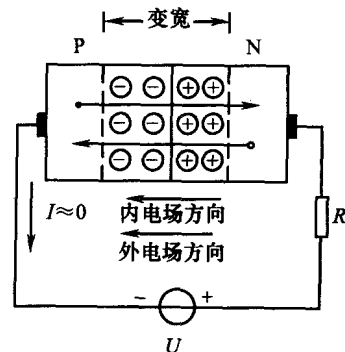


图 1-5 PN 结加反向电压

第二节 半导体二极管

一、基本结构

在 PN 结两端各接上一条电极引出线,再将 PN 结封装在管壳里就构成半导体二极管,亦称晶体二极管。P 区一侧引出的电极称为阳极,N 区一侧引出的电极称为阴极。图 1-6 画出了常用半导体二极管结构示意图。

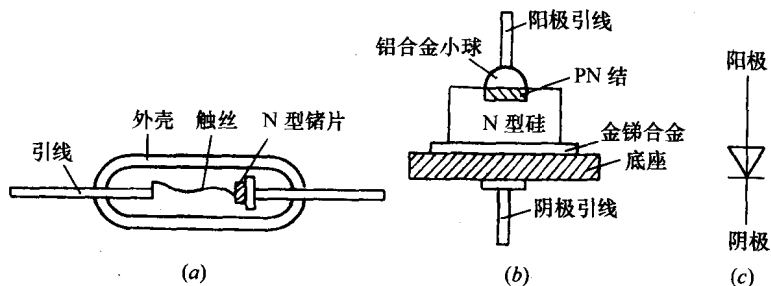


图 1-6 半导体二极管
(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 符号。

二极管按其结构不同可分为点接触型和面接触型两类。点接触型的二极管,PN 结结面积小,结电容小,只能通过较小的电流,一般适用于高频或小功率电路。面接触型二极管,PN 结结面积大,允许通过的电流大,但结电容大,可用于低频电路或大电流整流电路。

按材料的不同,二极管可分为硅管和锗管。

按用途不同,二极管又可分为普通管、整流管、稳压管和开关管等。

二、伏安特性

图 1-7 是二极管的伏安特性,即二极管两端的电压和流过二极管电流的关系曲线。由图可见,它有正向特性和反向特性两部分。

当二极管承受的正向电压很低时,外电场不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力,故正向电流 I_F 很小,几乎为零。这一段所对应的电压称为死区电压或阈值电压。通常,硅二极管的死区电压约为 0.5V,锗二极管的死区电压约 0.2V。当正向电压大于死区电压后,PN 结的内电场被大大削弱,正向电流迅速增大,而正向电阻变得很小。二极管充分导通后,其特性曲线很陡,二极管两端电压几乎恒定,该电压称为二极管的正向导通电压 U_F 。硅二极管的 U_F 约为 0.7V,锗二极管的 U_F 约为 0.3V。

二极管两端加反向电压时,外电场方向和内电场方向一致,只有少数载流子的漂移运动,形成很小的反向漏电流。由于少数载流子数目很少,在相当大的反向电压范围内,反向电

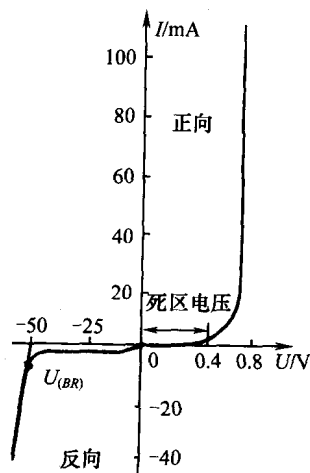


图 1-7 二极管的伏安特性

流几乎恒定,故称为反向饱和电流 I_R 。正常情况下,硅二极管的 I_R 在几微安以下,锗二极管的 I_R 较大,一般在几十至几百微安。

当反向电压增大到一定值时,反向电流急剧增大,这一现象称为反向击穿,所对应的电压称为反向击穿电压。二极管发生反向击穿时,反向电流突然增大,如不加以限制,将会造成二极管永久性的损坏,失去单向导电的特性。因此,二极管工作时,所加反向电压值应小于其反向击穿电压。

在实际工作中,为使问题简化,在电源电压远远大于二极管导通时的正向电压降时,可将二极管看成理想元件,即加正向电压时,二极管导通,正向电压降和正向电阻等于零,二极管相当于短路。加反向电压时,二极管截止,反向电流等于零,反向电阻等于无穷大,二极管相当于开路。

三、主要参数

二极管的参数是正确选择和使用二极管的依据。二极管的参数很多,主要参数如下:

1. 最大正向平均电流 I_{FM}

最大正向平均电流又称最大整流电流,是指二极管长期工作时,允许通过的最大正向电流的平均值。在实际工作中,管子通过的电流不允许超过该数值,否则,二极管将因PN结过热而损坏。

2. 最高反向工作电压 U_{DRM}

U_{DRM} 是指二极管不被击穿所允许施加的最大反向电压。一般规定为反向击穿电压的 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{2}{3}$ 。

3. 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是指在室温下,二极管承受最高反向工作电压时的反向漏电流。其值越小,二极管的单向导电性越好。当温度升高时,反向电流会显著增加。

二极管的应用范围很广,利用它的单向导电性可组成整流、检波、限幅、钳位等电路。在脉冲和数字电路中,常用作开关元件。

[例 1.1] 已知电路如图1-8所示, D_A 和 D_B 为硅二极管,若 $U_A = 3V$, $U_B = 0V$ 时,求输出端 F 的电压值 U_F 。

解: 当两个二极管的阳极连在一起时,阴极电位低的二极管先导通。图中 D_A 和 D_B 的阳极通过 R 接在 $+12V$ 的电源上,输入端电压 $U_A > U_B$,所以 D_B 抢先导通,由于硅管的正向压降为 $0.7V$,所以 $U_F = U_B + 0.7 = 0.7V$ 。 D_B 导通后,使得 D_A 承受反向电压而截止。在这里 D_B 起钳位作用,把输出端的电位钳制在 $0.7V$ 。 D_A 起隔离作用,隔断了 U_A 对 U_F 的影响。

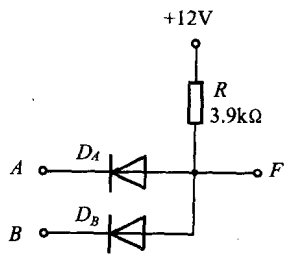


图 1-8 例 1.1 的电路

[例 1.2] 电路如图1-9(a)所示,已知电源电压 $U_S = 5V$,输入信号 $u_i = 10\sin\omega t V$,试画出输出电压 u_o 的波形。

解: 分析该题可把握两点:其一,二极管可视为理想元件,正向电阻为零,正向导通时的正向压降可忽略不计;反向电阻为无穷大,反向截止时相当于开路,反向漏电流可忽略

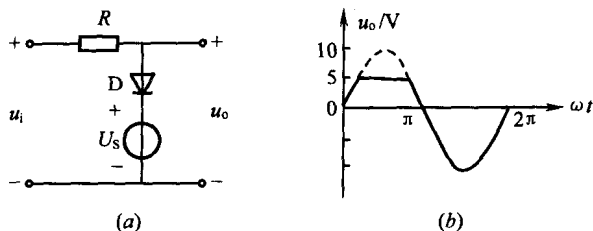


图 1-9 例 1.2 的图
(a) 电路图; (b) 波形图。

不计。其二,确定二极管导通、截止的时刻。该题中,直流电源 U_S 对二极管施加反向电压,只有 $u_i > U_S$ 时二极管导通,相当于短路,输出电压 $u_o = U_S = 5V$;而 $u_i < U_S$ 时,二极管截止,相当于开路,输出电压 $u_o = u_i$,即与输入波形相同。输出电压 u_o 的波形如图 1-9(b)所示。

第三节 稳压管

稳压管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管,其特性曲线和符号如图 1-10 所示。

稳压管的伏安特性与普通二极管相似。但反向击穿电压小,反向击穿区的伏安特性十分陡峭。在反向击穿状态下,反向电流在很大范围变化时,稳压管两端电压变化很小,让稳压管工作在反向击穿状态,就能起稳压作用,这时稳压管两端的电压 U_Z 称为稳定电压。与稳压管稳压范围所对应的电流为 $I_{Zmin} \sim I_{Zmax}$,如果工作电流小于 I_{Zmin} ,则电压不能稳定,若工作电流大于 I_{Zmax} ,稳压管将因过热而损坏。

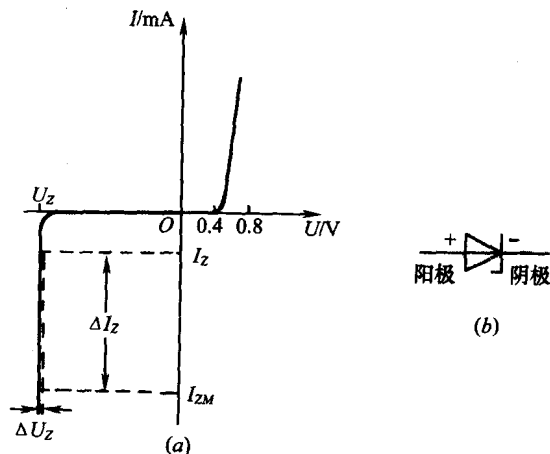


图 1-10 稳压二极管
(a) 伏安特性曲线; (b) 符号。

稳压二极管的主要参数:

1. 稳定电压 U_Z

稳定电压是指稳压管反向击穿后的稳定工作电压值。