

电气工人适用

电子技术应用基础

王大为 主编

DIANZI JISHU
YINGYONG
JICHU



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电气工人适用

电子技术应用基础

王大为 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以《中华人民共和国职业技能鉴定规范》中对不同行业电气类工种的“知识要求”为依据编写。

本书共分三篇：第一篇是半导体器件和模拟电子电路，包括常用半导体器件的工作原理及由晶体管和场效应管组成的各种交流放大电路、直流放大电路和集成运算放大电路；第二篇是数字电路，以逻辑电路、触发器的应用、数字装置为主，并简单介绍了数字计算机；第三篇是电力电子电路基础，内容为二极管整流、直流稳压、晶闸管可控整流、逆变、变频、直流斩波、交流调压。全书注重电路基础知识的阐述，并且列举了大量的典型应用实例。各章后都有一定数量的复习题，书末附有复习题的提示及解答。

本书可作为不同行业中各技术等级电气工人的电子知识培训教材及掌握电子知识的学习用书，可供职业技能鉴定、考核使用，可作为中等职业学校电气类专业的教材，还可供高等职业学校有关专业的学生作课外学习用书，也可供职业学校教师和工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术应用基础/王大为主编. —北京：中国电力出版社，2009

电气工人适用

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8923 - 3

I. 电… II. 王… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 089215 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 32 开本 12.25 印张 470 千字

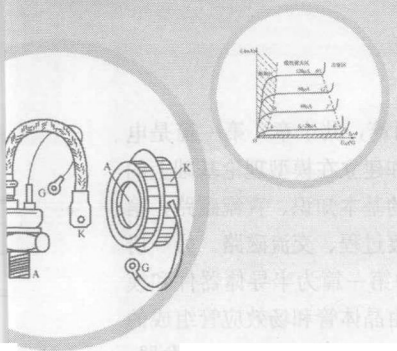
印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

构思的依据和目的

劳动和社会保障部颁布的《中华人民共和国职业技能鉴定规范》(以下简称《职业技能鉴定规范》)是广大工人进行培训、考核、上岗、转岗、定级、晋级和给予相应待遇的重要依据。按照《职业技能鉴定规范》的要求,不断提高工人的理论及技术水平是各企业进行培训的重要内容之一,是提高工人的理论知识、实际操作能力、安全生产能力、分析及处理故障能力、技术改造、节能降耗、人尽其才的重要措施之一。本书以《职业技能鉴定规范》的相关要求为依据编写,读者主要为电气工人,适应电气工人培训和学习电路理论及自学的需要,为技能鉴定及考核、生产现场服务。

内容的组织

《职业技能鉴定规范》是按行业划分的。在《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》中,把对工人的理论和技术要求分为“知识要求”和“技能要求”两类,“知识要求”又分为基础知识和专业知识两项,并以表格形式逐条列出对不同行业中不同专业的不同工种各技术等级的定性或定量要求,本书的内容仅限于《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》中“知识要求”的基础知识部分。由于各行业不同电气工种“知识要求”的基础知识不同,编写本书时,以《职业技能鉴定规范·电力行业》中对各电气工种“知识要求”的基础知识为主,兼顾其他行业电气工种的需求。

在编写本书前,首先以《职业技能鉴定规范·电力行业》各电气工种的“知识要求”为主,并参考了冶金、煤炭、化工等行业的电气工种“知识要求”,对其中涉及电路的基础知识进行逐条摘抄,然后分类归纳,取其通用部分,形成本书的章、节目录。以此为准,写出每节内容的详细条目,力求紧扣《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》。

《〈职业技能鉴定规范〉说明》中明确“初级技能阶段应掌握的知识和技能,不在中级技能阶段出现,中级的内容也不在高级技能阶段简单重复,各项要求步步深入,适度扩展,逐级递进”。换言之,中级工要掌握初级工的知识,高级工要掌握初级工和中级工的知识,依此类推。全书的内容按这种方式编写。

本套书分两册，一册是《电工应用基础》，包括两篇，共十章，第一篇是电路的基本概念和基本理论，主要讲述电路的模型理论和建立在模型理论基础上的基本定理和定律、电路的基本分析计算方法、电与磁的基本知识、直流磁路；第二篇侧重于正弦电路、基本控制电路、线性电路的过渡过程、交流磁路。另一册是《电子技术应用基础》，全书共三篇，十一章，其中第一篇为半导体器件和模拟电子电路，主要包括常用半导体器件的工作原理、由晶体管和场效应管组成的各种放大电路、集成运算放大电路；第二篇为数字电路，以逻辑电路、触发器、数字装置为主，并简单介绍了数字计算机和计算机监控系统；第三篇为电力电子电路基础，主要内容为直流稳压、晶闸管可控整流、逆变、变频、直流斩波、交流调压。本书从工程实用出发，介绍工程估算中的常用方法，全书始终贯穿电路模型理论，以便使广大工人接触和理解电路基础理论知识，为他们继续深造打好基础。

在具体内容编写上，以满足工人培训及技能鉴定中对电子知识的要求为主，始终强调对现象的物理过程进行定量解释和叙述；对于定理和定律，通过举例说明其运用。尽可能做到突出实用、由浅入深、重点明确、涵盖面广、图文并茂、易教易学、适合自学，并且列举了大量的典型应用实例。尝试运用这种方法，搭建理论和实践相结合的平台，使工人感到学有所用，学以致用。书中极少量内容超过了《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》的要求，之所以加入这些内容，是因为《职业技能鉴定规范》颁布于20世纪90年代，颁布后的这些年中，科学技术快速发展，新技术广泛应用，对工人的要求进一步提高，这些内容也是为那些真正想学好电路知识且学有兴趣或学有余力的工人服务。

各章后都有一定数量的复习题，供培训教师在备课和辅导时参考和选用，供自学者作为作业使用。复习题的题型多样，复习题的难易程度参考了《〈职业技能鉴定规范〉试卷样例》。大部分复习题是基础知识（概念、定义、定理、定律）的重现；一部分复习题是基础知识和基本方法的运用；少部分复习题需灵活、综合地运用所学知识；还有极少量复习题超过了《〈职业技能鉴定规范〉试卷样例》的难度，以提升读者能力。

书末附有各章复习题的提示及解答，解答的重点放在努力体现对书中相关知识的运用上，因此解答的过程未必是最佳或最简的。通过答疑解惑，方便工人检查自己掌握有关电路知识的程度和水准，加深工人对相关知识的理解，提升工人的学习能力和应对考核能力。

为了区分不同技术等级的知识内容，反映高级工的内容，在其前均加注“*”；反映技师的内容，在其前均加注“△”。未加标注的是初、中级工的内容，这些内容大部分是电路的入门知识。由于不同行业的同一工种对电路理论知识的要求一般不完全相同，而不同工种对电路理论知识的要求更存在差距，因此上述

划分只是粗略和大概的。

适用的读者

改革开放以来，教育和培训事业快速发展，30 年后的今天，广大工人的文化和科技知识有了很大提高，作为使用本书的工人应具有高中或同等学历，或学完电学和磁学的基础知识。

本书是为不同行业的各电气工种编写的，由于电子知识应用的广泛性，本书还可作为：发电厂非电气类各工种，建筑、冶金、煤炭、化工、机械制造等企业相关工种的培训及学习用书；计算机、自动化、通信和信息的工人培训及学习用书；中等职业学校电气、电子、自动化类专业的教材或教师的教学参考书；高等职业学校电气、电子、自动化类专业学生的课外学习用书或教师的教学参考书；有关专业工程技术人员的参考书。

作者简介

本书由以下作者协作完成：中信国安刘竞竞编写第一、二章及这两章的复习题解答；中电国际神头检修有限公司荆永全编写第三、四章及这两章的复习题解答；大同电力高级技工学校董小川编写第五、七、八章及这三章的复习题解答；大同电力高级技工学校王大为担任主编，编写其余章节及这些章节的复习题解答。

由于各位参编对《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》的理解程度不尽相同，写作风格各异，从理解和尊重参编出发，经与各位参编充分协商，全书由王大为整理和统稿。

致谢

首先真诚感谢各位参编，他们对统稿后由其写作的相应章节内容均进行了仔细地阅读，并提出了中肯的意见。

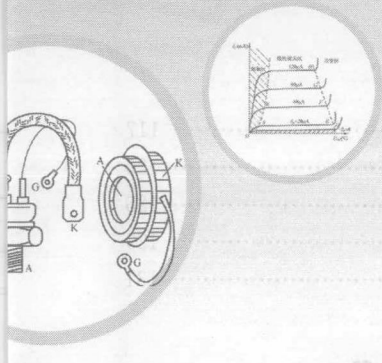
感谢大同供电公司的闫军先生和晋能大同能源发展有限公司的肖明先生，他们在改进本书的内容方面提出了有益的建议。

最后感谢洪汝玲女士，在统稿的整个过程中，她对各位参编提供的大量图稿和内容进行了细心的核对和整理，使主编的工作有所减轻，缩短了完稿时间。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，祈盼使用本书的读者批评和指正。

编者

2009.8



目 录

前言



第一篇 半导体器件和模拟电子电路

第一章 半导体器件	2
第一节 PN 结的特性	2
第二节 晶体二极管	6
第三节 特殊二极管	13
第四节 晶体三极管	17
第五节 场效应晶体管	30
第六节 晶闸管	40
第七节 单结晶体管	45
复习题	49
第二章 放大电路	56
第一节 晶体管基本交流放大电路	56
第二节 工作点稳定的晶体管交流放大电路	66
第三节 共集、共基接法的交流放大电路	71
第四节 多级交流放大电路	76
第五节 放大电路中的交流反馈	80
第六节 场效应管交流放大电路简介	86
第七节 直流放大电路	89
复习题	95
第三章 模拟集成放大电路	102
第一节 模拟集成放大电路简介	102
第二节 集成运算放大电路及其模型	105
第三节 集成运放的线性应用	109

第四节	集成运放的非线性应用	117
第五节	集成运放构成的正弦波振荡电路	120
第六节	集成功率放大电路	125
第七节	集成放大电路的正确使用	129
复习题		131



第二篇 数字电路

第四章	组合逻辑电路基础	140
第一节	二进制数系和数字电子电路	140
第二节	逻辑代数与逻辑函数	144
第三节	逻辑代数的基本定律	150
第四节	逻辑函数的化简	154
第五节	分立元件组成的基本逻辑电路	159
第六节	集成门电路	164
第七节	组合逻辑电路	169
第八节	组合逻辑集成电路简介	173
复习题		187
第五章	时序逻辑电路基础	193
第一节	概述	193
第二节	基本 RS 触发器	193
第三节	同步 RS 触发器	200
第四节	主从 RS 触发器	203
第五节	同步触发器及其应用简介	205
第六节	触发器功能的转换	213
复习题		215
第六章	脉冲波形的产生和整形	221
第一节	多谐振荡器	221
第二节	单稳态触发器	229
第三节	施密特触发器	234
复习题		239
第七章	模拟量和数字量及其互相转换	243
第一节	模拟量和数字量	243
第二节	数/模转换器 (D/A 转换)	244

第三节 模/数转换器 (A/D 转换)	248
复习题	254
第八章 计算机简介	257
第一节 计算机的构成	257
第二节 计算机指令和计算机工作	262
复习题	263



第三篇 电力电子电路基础

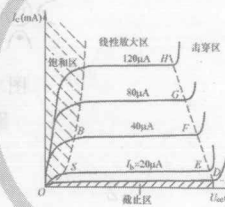
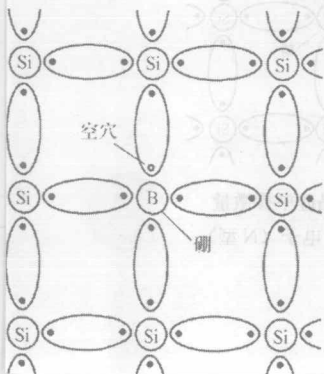
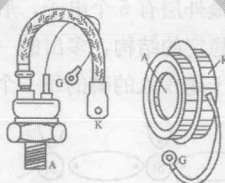
第九章 直流电源电路	268
第一节 电力电子器件简介	268
第二节 二极管单相整流电路	270
第三节 滤波电路	276
第四节 稳压电路	279
第五节 二极管三相整流电路	283
第六节 晶闸管单相整流电路	289
第七节 晶闸管的串并联及保护	295
第八节 晶闸管的触发电路	299
第九节 晶闸管三相整流电路	304
第十节 日常生活中的晶闸管实用电路举例	309
复习题	312
第十章 逆变和变频电路简介	318
第一节 有源逆变	318
第二节 无源逆变	323
第三节 变频电路	325
复习题	328
第十一章 直流斩波和交流调压电路简介	331
第一节 直流斩波电路概述	331
第二节 晶体管、晶闸管直流斩波电路	332
第三节 交流调压电路	338
复习题	344
各章复习题解答	347
参考文献	381

半导体器件

第一章 半导体器件

第一篇

半导体器件和模拟电子电路



第一章

半 导 体 器 件

第一节 PN 结 的 特 性

一、P 型半导体和 N 型半导体

纯净的单晶半导体是依靠电子—空穴对导电的,但是从具有良好导电性能来看,由于电子—空穴对的数量离实际要求相差甚远,所以其本身用处不大。半导体技术之所以能迅速发展,根本原因在于能人为精确地控制半导体的电学特性,所采用的方法是在纯净的单晶半导体中掺入有用的杂质,大大改善其导电性能。掺入有用杂质的单晶半导体称掺杂半导体。如图 1-1 所示,是在单晶硅(元素符号 Si)中掺入微量的三价元素硼(元素符号 B),由于硼原子的数量比硅原子的数量少得多,所以单晶硅的结构基本不变,只是某些位置的硅原子被硼原子取代。由于三价硼原子最外层只有 3 个电子,硼原子和硅原子形成共价键时,自然就形成一个空穴。于是掺入的硼的每一个原子都提供一个空穴,这样单晶硅中除了其自身产生的极少量电子—空穴对外,还有由硼原子提供的大量空穴,使得空穴的数量远远大于自由电子(以下简称电子)的数量,即空穴的浓度远远大于电子的浓度。空穴称为多数载流子,简称多子;电子称为少数载流子,简称少子。掺入硼的单晶硅主要靠空穴导电,称为空穴半导体,简称 P 型半导体。

如果在单晶硅中掺入微量的五价元素磷(元素符号 P),如图 1-2 所示,由于五价磷原子最外层有 5 个电子,形成共价键时,其中 4 个电子与硅原子形成共价键,形成了稳定的结构,多出的一个电子受磷原子的原子核束缚很小,极易成为自由电子。于是掺入的磷的每一个原子都提供一个电子,这样单晶硅中除了其

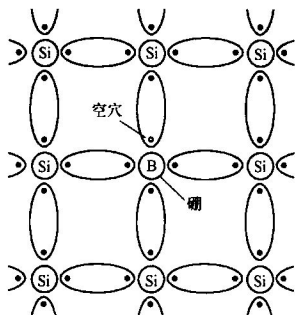


图 1-1 单晶硅中掺微量
硼后形成空穴 (P 型)

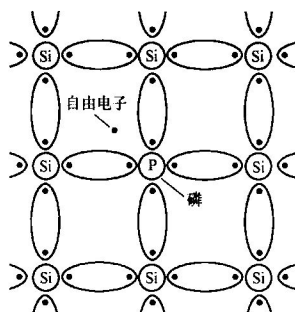


图 1-2 单晶硅中掺微量
磷后形成自由电子 (N 型)

自身产生的极少量电子—空穴对外, 还有由磷原子提供的大量电子, 使得电子的数量远远大于空穴的数量, 即电子的浓度远远大于空穴的浓度。因此电子是多子, 空穴是少子。掺入磷的单晶硅主要靠电子导电, 称为电子半导体, 简称 N 型半导体。

P 型半导体和 N 型半导体是各种半导体器件的基本组成部分。

掺杂可以极大地改变半导体的导电性, 除此之外, 半导体的导电性还受温度、光照、辐射等影响。例如温度升高, 使构成单晶半导体的微粒热运动加剧, 产生新的电子—空穴对, 使载流子数量增加, 改变其导电性。

二、PN 结的形成

物质由浓度大向浓度小方向的运动称为扩散。

将 P 型半导体和 N 型半导体用某种方法 (其制造工艺通常有光刻、合金法、扩散法等) 结合形成一体时, P 型半导体一侧称为 P 区, N 型半导体一侧称为 N 区。由于 P 区的多子是空穴, N 区的多子是电子, 在两者的交界面处就出现了空穴和电子的浓度差, 空穴要由 P 区向 N 区扩散, 同样电子要由 N 区向 P 区扩散, 形成多数载流子的扩散运动。如图 1-3 (a) 所示, 图中用 “+”、“-” 分别表示空穴和自由电子; 用 $\oplus$ 、 $\ominus$ 分别表示不能移动的正、负粒子。扩散运动形成的电流称为扩散电流。随着扩散运动的进行, 在两者的交界面附近, P 区由于空穴减少, 形成了一层带负电的粒子区; N 区由于电子减少, 形成了一层带正电的粒子区, 如图 1-3 (b) 所示。结果在交界面的两侧形成了一个空间电荷区。由于空间电荷区中载流子数目极少, 因此空间电荷区又称为耗尽层。空间电荷区的 P 区一侧带负电、N 区一侧带正电, 产生一个内电场, 其方向由带正电的 N 区指向带负电的 P 区, 如图 1-3 (b) 所示。根据电场的知识, 这个内电场阻碍多子的扩散运动, 因此空间电荷区又称为阻挡层。但是内电场的存在却有利于 P 区的少子——电子和 N 区的少子——空穴的运动, 称少数载流子在内电场作用下的运动为漂移运动。漂移运动形成的电流称为漂移电流。

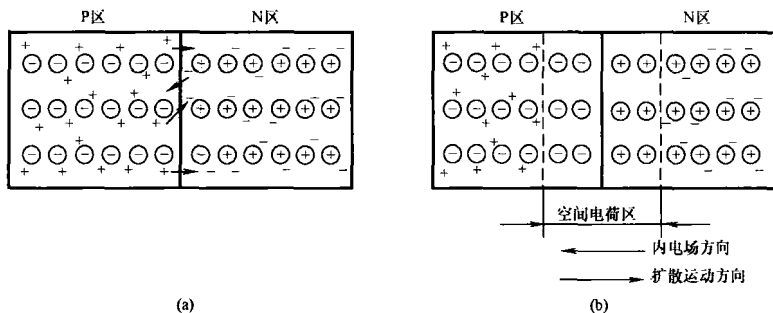


图 1-3 形成 PN 结时载流子的运动

(a) 多子的扩散运动; (b) 空间电荷区的形成及对扩散和漂移运动的影响



开始的时候,多子的扩散运动占优势,有扩散就要形成内电场,有内电场就要形成少子的漂移运动。随着扩散运动的进行,空间电荷区不断加宽,内电场不断增强,使多子的扩散运动不断减弱,使少子的漂移运动不断增强。当进行到少子的漂移运动和多子的扩散运动相等时,尽管多子的扩散和少子的漂移仍在不断运动,但扩散过去多少电子和空穴,同时会有同样数量的电子和空穴漂移回来,少子的漂移运动和多子的扩散运动处于动态平衡状态,这时空间电荷区的宽度不再增加,这个稳定、具有一定宽度的空间电荷区就是 PN 结。

三、PN 结的特性

1. 外加正向电压

PN 结的 P 区接外加电压正极, N 区接外加电压负极,或 P 区的电位高于 N 区的电位,称为 PN 结外加正向电压,又称 PN 结正向偏置,简称 PN 结正偏,如图 1-4 (a) 所示。当 PN 结正偏时,外加电场的方向与内电场的方向相反,外加电场的作用破坏了原有的动态平衡,外加电压在 P 区为正,促使 P 区的空穴向右移动,抵消了空间电荷区内 P 区一侧的一部分负电荷;外加电压在 N 区为负,促使 N 区电子的向左移动,抵消了空间电荷区内 N 区一侧的一部分正电荷,使空间电荷区的电荷量减少。由于外加电源的激励,不断地提供电子和空穴,使得外加电场始终削弱着内电场,维持空间电荷区的变窄。这时,多子的扩散运动大大强于少子的漂移运动,多子顺利地通过 PN 结。由于多子的数量远远大于少子的数量,因此形成较大的电流,这种情况称为 PN 结的正向导通,流经 PN 结的电流称为正向导通电流,简称正向电流。换言之,PN 结在正向导电时电阻很小,正向导电时的电阻称为正向电阻。

2. 外加反向电压

PN 结的 P 区接外加电压负极, N 区接外加电压正极,或 P 区的电位低于 N 区的电位,称为 PN 结外加反向电压,又称 PN 结反向偏置,简称 PN 结反偏。如图 1-4 (b) 所示,当 PN 结反偏时,外加电场的方向与内电场的方向一致,外加电压在 P 区为负,促成 P 区的空穴向左移动,空间电荷区内 P 区一侧的一部分空穴被移走,使空间电荷区内 P 区一侧的负电荷量增加;同理,外加电压在 N 区为正,使空间电荷区内 N 区一侧的一部分电子被移走,使空间电荷区内 N 区一侧的正电荷量增加,最终使空间电荷区两侧的正、负电荷量都增加,空间电荷区变宽。与不加电压时相比,多子的扩散运动几乎无法进行,而内电场作用下少子的漂移运动却能顺利进行。由于少子的数量很少,因此形成的电流极小,这个极小的电流称为 PN 结反向电流。由于反向电流极小,可以认为 PN 结基本不导通,将这种情况称为 PN 结的反向截止。换言之,PN 结在反偏时,电阻很大。PN 结反偏时的电阻称为反向电阻。

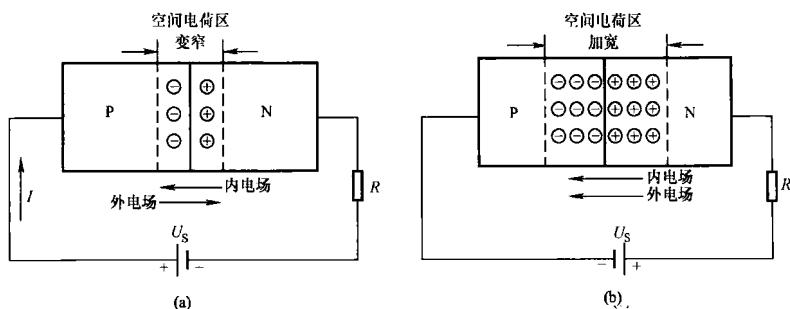


图 1-4 PN 结的特性

(a) 加正向电压时导通; (b) 加反向电压时截止

若 PN 结的 P 区所接电位等于 N 区的电位, 称为 PN 结的零偏置, 简称 PN 结零偏。PN 结零偏时, 空间电荷区的宽度不变, 少子的漂移运动和多子的扩散运动仍处于动态平衡状态, 因此形成的电流为零。

PN 结正偏时导通, 有较大的电流通过; PN 结反偏或零偏时, 几乎没有电流通过, 处于截止状态; 这种情况称为 PN 结的单向导电性。

PN 结零偏时, 空间电荷区两侧带有等量异号的电荷; PN 结外加正向电压或反向电压时, 空间电荷区会变窄或变宽, 空间电荷区内正、负电荷量要发生变化, 这种情况相当于电容的充、放电, 说明 PN 结具有电容效应, 称为 PN 结的结电容。

四、PN 结的伏安特性

各种半导体器件都是由 PN 结构成的, 因此了解 PN 结的伏安特性具有普遍意义。PN 结的伏安特性表达式为

$$i = I_S (e^{\frac{qU}{kT}} - 1) \quad (1-1)$$

式中 q ——电子的电荷量, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$;

T ——热力学温标, 又称绝对温度, 它以摄氏温度的 -273°C 为 0K , 即 $0^\circ\text{C} = 273\text{K}$, 例如当室温为 25°C 时, $T = 273 + 25 = 298 \text{ (K)}$, K (开尔文);

k ——波尔兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$;

U ——PN 结两端的外加电压, V ;

I_S ——PN 结的反向饱和电流, PN 结制成后, 它基本上是一个只与温度有关的量, μA 。

五、PN 结的反向击穿

当 PN 结反偏时, 少子的漂移运动加强, 但由于少子数量很少, 因此当反向电压在一定范围内变化时, 反向电流基本不随反向电压的变化而变化。这是因为在一定的温度下, 少子的数量有限, 只要外加反向电压产生的电场足够强, 则全部少子都参与了漂移运动, 再增加电压也不能使少子的数量增加, 因此反向电流



基本不随反向电压的变化而变化。这个不随反向电压的变化而变化的反向电流就是PN结的反向饱和电流 I_S 。但当反向电压增大到一定大小后,反向电流会突然增大,这种现象称为PN结的反向击穿。造成PN结反向击穿的原因主要是外加反向电压增大到一定大小后,反向电压产生的强电场强制把在外层轨道运动的电子拉出,使载流子数量急剧上升,于是反向电流突然大增。

各种半导体器件都是由PN结构成的,各种半导体器件根据处理对象的不同可分为信息半导体器件和电力半导体器件两种。前者完成各种各样的模拟和数字信息的处理,如广播、电视、手机、计算机内部的数据信息流等;后者实现电路中电能的控制和转换。相比而言,电力半导体器件比信息半导体器件的耐压高、电流大,一般工作于开关状态。虽然两种半导体器件处理的对象不同,但它们的工作原理基本相同。

第二节 晶体二极管

一、晶体二极管的主要结构

晶体二极管简称二极管。它是将一个PN结和相应的电极引线用管壳封装而成。电极引线又称为二极管管脚,连接P区的管脚称为阳极或正极,连接N区的管脚称为阴极或负极,其外形如图1-5(a)所示。二极管按使用材料的不同,可分为硅二极管和锗二极管;按管芯结构的不同,可分为点接触型和面接触型,如图1-5(b)所示。点接触型的二极管,PN结面积小,结电容小,适用于高频小电流的场合;面接触型的二极管,PN结面积大,结电容大,适用于低频大电流的场合。二极管的电路符号如图1-5(c)所示。

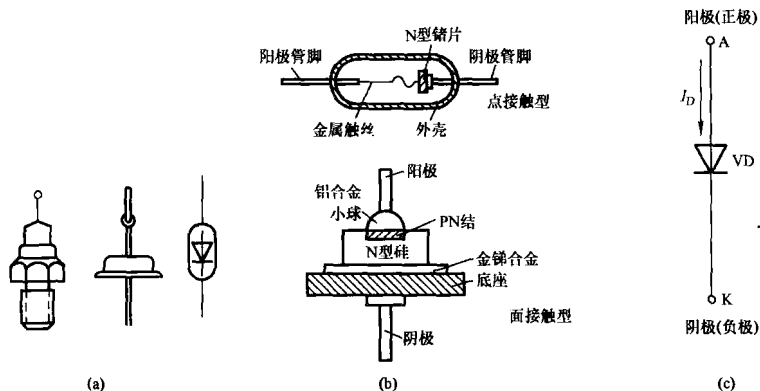


图 1-5 二极管

(a) 外形; (b) 管芯结构; (c) 电路符号

二、二极管的伏安特性曲线

二极管是具有一个PN结的半导体器件，其伏安特性满足式 (1-1)，实际的二极管伏安特性曲线如图 1-6 所示。它由正向特性、反向特性和反向击穿三部分组成。下面以硅管为例进行介绍。

1. 正向特性

二极管的正向特性是指 PN 结正偏即外加正向电压，又称正向接法，其伏安特性曲线在图 1-6 中的第一象限。当室温为 25°C ，即 $T=273+25=298\text{ (K)}$ 时，由式 (1-1) 可知

$$\frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 298}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 26\text{mV}$$

则

$$\frac{qU}{kT} = \frac{U}{26}$$

当 $U \gg 26\text{mV}$ 时， $\frac{qU}{kT} \gg 1$ ，所以

$$i = I_S (e^{\frac{qU}{kT}} - 1) \approx I_S e^{\frac{qU}{kT}}$$

即通过管子的正向电流与正向电压之间为指数关系，管子的正向电压只要略微增加，正向电流就会增加很多，如图 1-6 中所示特性曲线的 A 点以上部分，称为二极管的正向导通。二极管导通后的管压降称为正向压降，其值基本不变，硅管约为 0.7V ，锗管约为 0.3V 。在工程估算时，一般将二极管的正向压降忽略不计，认为是零。

曲线的 OA 段反映了二极管外加正向电压很小时，由于正向电压所形成的外加电场还不足以克服内电场的影响，阻碍多子的扩散运动，正向电流很小，几乎为零，即存在死区电压。死区电压又称门槛电压，硅管约为 0.6V ，锗管约为 0.2V 。

2. 反向特性

二极管的反向特性是指 PN 结反偏即外加反向电压，又称反向接法，其伏安特性曲线在图 1-6 中的第三象限。当室温为 25°C ，即 $T=273+25=298\text{ (K)}$ 时，根据式 (1-1)，且此时 $U < 0$ ，所以

$$\frac{-q|U|}{kT} = \frac{|U|}{26} < 0$$

当 $U \ll -26\text{mV}$ 时， $e^{\frac{-q|U|}{kT}} \ll 1$ ，则

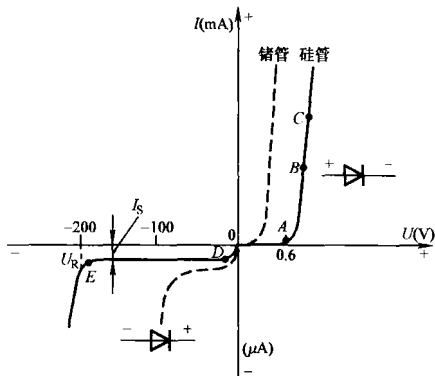


图 1-6 二极管的伏安特性曲线



$$i = I_S (e^{\frac{-q|U|}{kT}} - 1) \approx -I_S$$

即通过二极管的反向电流与反向电压几乎无关,基本为一个常数,这个反向电流就是反向饱和电流,如图 1-6 中所示特性曲线的 DE 段,称为二极管的反向饱和段。

曲线的 OD 段反映了二极管外加反向电压后,随着反向电压的逐渐增大,反向电压所形成的外加电场与内电场方向一致,使少子的漂移运动逐渐增强的过程。但少子的数量有限,当反向电压增大到一定大小时,由于少子已全部参与了漂移运动,此后反向电压再增大,反向电流也不会再增大,进入反向饱和段。

3. 反向击穿

当二极管的反向电压增加到一定大小时,二极管的反向电流突然剧增,称为二极管的反向击穿,如图 1-6 中所示特性曲线上 E 点以后部分,其原因与 PN 结的反向击穿相同。反向击穿时的电压称为反向击穿电压,击穿后流经二极管的电流称为反向击穿电流。

二极管的反向击穿是一种电击穿。二极管被电击穿后,击穿电流很大,而二极管反向击穿时的电压又很高,因此 PN 结消耗的功率很大,造成 PN 结的结温升高,结温升高会产生新的电子—空穴对,使反向击穿电流增大。而反向击穿电流增大又造成结温进一步升高,这种恶性循环最终使 PN 结被烧毁,称为 PN 结热击穿。二极管的电击穿是可逆的,也就是说当加在二极管的反向电压低于反向击穿电压后,管子仍然可以恢复到原来的状态。而二极管的热击穿将造成管子的永久损坏。

4. 几点说明

二极管是将一个 PN 结封装而成,因此具有单向导电性。这种单向导电性是指:当二极管的正向电压在死区电压范围内,即图 1-6 所示的 OA 段时,管子的正向电流几乎为零。此时二极管的电阻很大,其数值一般为十几千欧左右。当二极管正向导通后,管子的正向电压很小,而正向电流很大。以图 1-6 所示的 B 点为例,将 U_B/I_B 称为二极管的正向直流电阻,又称静态电阻,其值在几十欧到 $1k\Omega$ 之间。当二极管的反向电压在 ODE 段时,其反向电压和反向电流的比值称为反向电阻,其值在几十千欧到几百千欧之间。

由图 1-6 所示正向特性曲线的 BC 段可见,当 $\Delta U_{CB} = U_C - U_B$ 变化很小时, $\Delta I_{CB} = I_C - I_B$ 变化却很大,将 $\Delta U_{CB}/\Delta I_{CB}$ 称为二极管的交流电阻,又称微变电阻或动态电阻,其值在几欧到几十欧之间。

二极管的伏安特性受温度的影响。其中温度的变化对二极管的反向电流影响比对正向电流影响大,这是因为反向电流由少子形成,与多子相比,少子在单晶半导体中数量很少。温度增加,要产生的新的电子—空穴对,新增的电子—空穴对数量与原有的少子数量之比,以及新增的电子—空穴对数量与原有的多子数量之比,显然前者的比值大于后者,所以温度的变化对二极管的反向电流影响比对