

以能力为主、应用为本
作为职业教育导向的内容
体系；遵循任务导向、案例
教学的组织结构；注重职业素养
培养，启发学生创新思维的内涵设计



高等职业教育“十三五”规划新形态教材
高职高专课程改革项目研究成果

电子技术 教学做一体化教程

董建民 主 编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”规划新形态教材
高职高专课程改革项目研究成果

电子技术教学做一体化教程

主 编 董建民
副主编 路荣亮 刘 娜 党小娟
参 编 崔如泉 孙丰收 李东晶
赵伟中 吴居娟 刘 兵
主 审 顾海远



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书针对高职学生的认知特性,结合本课程的特点,将电子技术课程内容重新设计,弱化理论性和计算性的内容,讲解以概念性和实用性的内容为主。将课程内容整合为6个项目,每个项目下有1~2个任务。用8个电子制作任务为载体,将理论知识和技能合理地融入电子制作中。每一个任务后面都将总结所要掌握的达标知识点,并配有自我评测的试题,将课程知识点具体化、标准化。本书编写组可提供配套的电子教案、电子课件、教学视频、教材中电子制作的教学套件、课程标准等,能有效地支撑做中学、学中做的理实一体化的教学模式。

本书可作为高职高专电子类相关专业课程的教材,也可供其他工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子技术教学做一体化教程 / 董建民主编. —北京:北京理工大学出版社,2018.1(2018.2重印)

ISBN 978-7-5682-5237-9

I. ①电… II. ①董… III. ①电子技术-教学研究-高等学校-教材 IV. ①TN-4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第015152号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 355千字

版 次 / 2018年1月第1版 2018年2月第2次印刷

定 价 / 39.80元

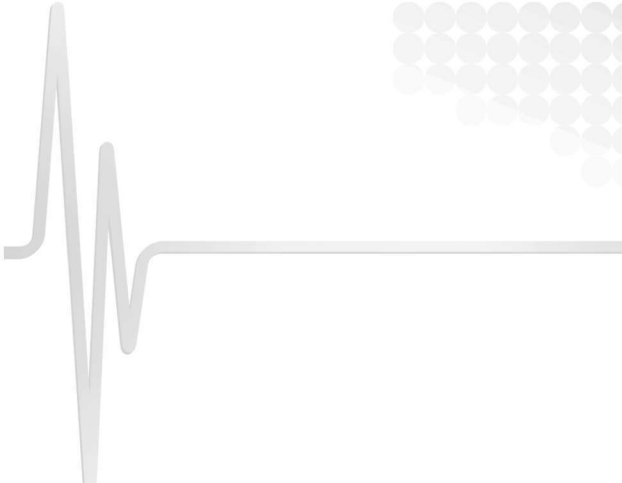
责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Preface

传统的电子技术教材内容设置主要停留在书本知识的范围内，理论性较强，知识晦涩难懂，学生学习吃力枯燥，学生被动接受，参与性和积极性都不高，难以与实践相结合，对于技能培养的作用不够显著。鉴于此，教材编写组想编写一本教材，重新系统化设计知识结构，建设碎片化教学资源，弱化复杂分析和计算，注重实践能力的培养和基础理论与知识的学习，依托电子制作将知识点和技能点融入实践任务中。比如项目一 基本元器件的识别与检测，对于半导体二极管、三极管、电阻、电感、电容和继电器等元器件，这些具有很好的直观性的器件，学生们通过实际动手焊接组装小电子产品，从眼、脑、手等多感官的接触，更加深了对常用电子元器件的认识。通过电子制作实践任务可以提高学生的学习兴趣，把抽象的理论内容直观化，不仅锻炼了学生的电子焊接技能、电子产品装配技能、元器件的识别与检测技能等实践技能，还促进了电子基础基本理论知识的理解和学习。本教材的每一个项目和任务都有丰富的学习资源进行支撑，包括电子课件、电子教案、动画、视频、仿真等。可以通过扫描二维码方便地获得。

本教材共划分 6 个项目，每个项目下有 1~2 个任务，每个任务有如下 6 个栏目：任务概述、知识准备（任务所需的每一部分知识为一个知识链接）、任务实施、知识拓展、任务达标知识点总结、自我评测。通过本课程的学习和锻炼，使学生能够掌握电子技术的基本知识和技能，掌握基本的电子线路分析方法，为后续课程的学习和从事相关的工作奠定基础。

参加本教材编写的人员有：山东工业职业学院董建民（项目一、项目四）、路荣亮（项目五、项目六）、刘娜（项目二）、崔如泉（项目三），本书由山东工业职业学院顾海远副教授主审，对全书进行了审阅并提出了许多宝贵意见，由董建民对全书进行了统稿。山东工业职业学院孙丰收、李东晶、赵伟中、吴居娟、刘兵、陕西服装工程学院党小娟等老师在本书的编写中也做了很多工作。

在本教材的编写过程中，编者参考了许多相关资料和书籍，在此向有关资料与书籍的作者表示感谢。本教材在使用中，最好是有理实一体化教室，需要准备电子制作的相应套件，每名同学要有电子产品装配的工具和仪表，如电烙铁、万用表。要有专用的焊接实验室。

由于编者的水平和经验有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

Contents

► 项目一 常用半导体器件的识别与检测	1
任务一 微型 LED 照明器的制作	1
任务概述	1
知识准备	2
知识链接 1 半导体基本知识	2
知识链接 2 半导体二极管特性及主要参数	4
知识链接 3 二极管整流电路	9
知识链接 4 特殊二极管	15
任务实施	19
知识拓展	21
二极管的主要用途	21
任务达标知识点总结	23
自我评测	23
任务二 电子音乐门铃的制作	25
任务概述	25
知识准备	26
知识链接 1 半导体三极管的结构	26
知识链接 2 半导体三极管的电流放大特性及参数	27
知识链接 3 三极管极性的判别	34
任务实施	37
知识拓展	40
场效应管及其基本电路	40
任务达标知识点总结	53
自我评测	54
► 项目二 放大电路基础	55
任务一 单管放大电路的制作	55
任务概述	55
知识准备	56
知识链接 1 放大电路的基本知识	56

知识链接 2 共发射极放大电路	59
知识链接 3 静态工作点稳定的放大电路	71
任务实施	74
知识拓展	76
多级放大电路和集成电路	76
任务达标知识点总结	82
自我评测	82
任务二 亚超声声控开关的制作	84
任务概述	84
知识准备	85
知识链接 1 共集与共基电路	85
知识链接 2 放大电路 3 种基本组态的比较	89
知识链接 3 负反馈放大电路	89
任务实施	98
知识拓展	100
集成功率放大器	100
任务达标知识点总结	103
自我评测	104
 ► 项目三 集成运算放大器	106
任务 温度测量放大电路的制作	106
任务概述	106
知识准备	107
知识链接 1 集成运算放大器的应用基础	107
知识链接 2 集成运放的运算电路	113
任务实施	118
知识拓展	120
集成运放的非线性应用	120
任务达标知识点总结	125
自我评测	126
 ► 项目四 直流稳压电源	127
任务 LM317 输出可调直流稳压电源的制作	127
任务概述	127
知识准备	128
知识链接 1 直流稳压电源概述	128
知识链接 2 串联型稳压电路	130

知识链接 3 线性集成稳压器	132
任务实施	136
知识拓展	137
开关型稳压电源	137
任务达标知识点总结	139
自我评测	139
 ► 项目五 门电路和组合逻辑电路	141
任务 八路抢答器的设计与制作	141
任务概述	141
知识准备	142
知识链接 1 数字电路概述	142
知识链接 2 数制及数制之间的相互转换	144
知识链接 3 编码	146
知识链接 4 逻辑代数	148
知识链接 5 逻辑代数的基本定律和规则	155
知识链接 6 逻辑函数的化简	158
知识链接 7 基本逻辑门电路	160
知识链接 8 集成逻辑门电路	164
知识链接 9 组合逻辑电路的分析	167
知识链接 10 编码器	168
知识链接 11 译码器和数码显示	172
任务实施	177
知识拓展	178
数据选择器、加法器和数值比较器	178
任务达标知识点总结	184
自我评测	185
 ► 项目六 触发器和时序逻辑电路	187
任务 电子幸运转盘灯的设计和制作	187
任务概述	187
知识准备	188
知识链接 1 双稳态触发器	188
知识链接 2 时序逻辑电路的分析	196
知识链接 3 计数器	200
知识链接 4 寄存器	205
知识链接 5 555 定时器及其应用	207

任务实施·····	212
知识拓展·····	215
数/模与模/数转换·····	215
任务达标知识点总结·····	227
自我评测·····	228
► 附录·····	229
► 参考文献·····	234

项目一

常用半导体器件的识别与检测



引言

半导体二极管和三极管是电子技术中最基本的半导体电子器件，它们的基本结构、工作原理、特性及参数是学习电子技术和分析电子电路的基础。本项目主要是让同学们认识 and 了解二极管与三极管，知道它们的结构、特点、参数以及主要用途。以后见到这些电子器件不仅能够认识它们，还能检测出它们的引脚极性，熟悉它们在电路中的作用。为后面各项目的学习打下必要的基础。

任务一 微型 LED 照明器的制作



任务概述

利用普通二极管、发光二极管、电阻、电容等电子元器件，制作一个小夜灯。包括阻容降压电路、二极管桥式整流电路，完成小夜灯的装配与调试。

【任务目标】

- (1) 了解半导体的基本特性。
- (2) 了解相关元器件（普通二极管、发光二极管、电阻、电容）的结构和基本应用。
- (3) 熟悉相关元器件（普通二极管、发光二极管、电阻、电容）极性的识别和极性检测方法。
- (4) 练习电子焊接的实践技能。
- (5) 实施并完成小夜灯的制作。

【参考电路】

图 1-1-1 所示为小夜灯电路原理图。

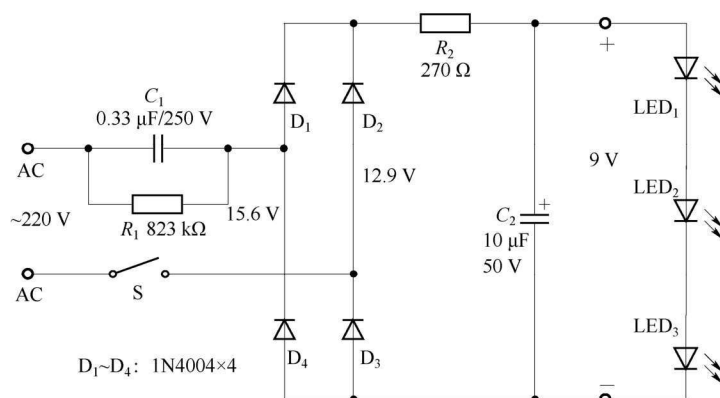


图 1-1-1 小夜灯电路原理图

知识准备

知识链接 1 半导体基本知识

世界上的物质根据导电能力的不同，可分为导体（如金、银、铜、铁等）和绝缘体（如干燥的木头、玻璃等），还有一类物质它的导电能力介于导体和绝缘体之间，称为半导体。常用的半导体材料是硅（Si）、锗（Ge）和砷化镓等。

（一）半导体的主要特性

1. 半导体的奇妙特性

在电工技术的发展史上，由于半导体既不是良好的导电材料，又不是可靠的绝缘材料，所以长期受到冷落，之所以后来得到广泛的应用，是因为人们发现了半导体具有以下 3 个可贵的特性。

1) 光敏特性

即半导体的导电能力对光照辐射很敏感。对半导体施加光线照射时，光照越强，等效电阻越小，导电能力越强。利用半导体的光敏特性，可以制成光敏检测元件，如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管和光电池等，可用于路灯、航标灯的自动控制或制成火灾报警装置、光电控制开关等。

2) 热敏特性

即半导体的导电能力对温度很敏感。温度升高，将使半导体的导电能力大大增强。例如，纯锗，温度每升高 10°C 它的导电能力增加一倍（电阻率会减少到原来的 $\frac{1}{2}$ ）。利用半导体对温度十分敏感的特性，可以制成自动控制中常用的热敏电阻（是负温度系数）及其他热敏元件。

3) 掺杂特性

“杂质”可以显著改变（控制）半导体的导电能力。这里所说的“杂质”是指人为的、有目的的、在纯净的半导体（通常称本征半导体）中掺入的极其微量的三价或五价元素（如硼、磷）。在本征半导体中掺入微量的杂质元素，则它的导电能力将大大增强。例如在纯硅中掺入

一亿分之一的硼元素，其导电能力可以增加两万以上。利用掺杂半导体可以制造出晶体二极管、晶体三极管、场效应管、晶闸管和集成电路等半导体器件。

这也说明，任何东西的特性本身无所谓好坏，主要是看人们如何去利用它们。

2. 本征半导体

纯净的结构完整的半导体称为本征半导体。用于制造半导体器件的纯硅和锗都是四价元素，其最外层原子轨道上有 4 个电子（称为价电子）。

在单晶结构中，由于原子排列的有序性，价电子为相邻的原子所共有，形成图 1-1-2 所示的共价键结构，图中+4 代表四价元素原子核和内层电子所具有的净电荷。共价键中的价电子，将受共价键的束缚。在室温或光照下，少数价电子可以获得足够的能量摆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，如图 1-1-3 所示，这种现象称为本征激发，这个空位称为空穴，可见本征激发产生的自由电子和空穴是成对出现的。原子失去价电子后带正电，可等效地看成是有了带正电的空穴。空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子去填补，使空位发生转移，这种价电子填补空位的运动可以看成空穴在运动，但其运动方向与价电子运动方向相反。自由电子和空穴在运动中相遇时会重新结合而成对消失，这种现象称为复合。温度一定时，自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡，这时自由电子和空穴的浓度一定。

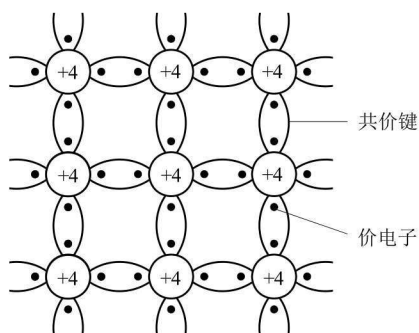


图 1-1-2 单晶硅的共价键结构图

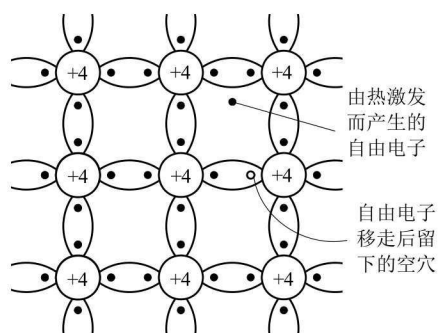


图 1-1-3 本征激发产生的电子-空穴对

在电场作用下，自由电子和空穴将做定向运动，这种运动称为漂移，所形成的电流叫作漂移电流。因为半导体中有自由电子和空穴两种载流子（载有电荷，并能参与导电过程的粒子称为载流子）参与导电，分别形成电子电流和空穴电流，这一点与金属导体的导电机理不同。在常温下本征半导体载流子浓度很低，因此导电能力很弱。不过，当本征半导体受到光或热的作用时，由于外界能量的激发，则有较多的共价键破裂，形成电子-空穴对，从而涌现出大量的载流子，使得半导体的导电能力明显上升，呈现出半导体的光敏、热敏特性。

3. 掺杂半导体

本征半导体导电能力差，本身用处不大，但是在本征半导体中掺入某种微量的杂质，却可以大大改善它的导电性能。按照掺入杂质的不同，可分为 N 型和 P 型两种掺杂半导体，这两种半导体是制造各种半导体器件的基础材料。其中 P 是 Positive（正）的第一个字母，N 是 Negative（负）的第一个字母。

1) N 型（电子型）半导体

如果在本征硅中掺入微量的五价元素，例如磷（P），这种掺入磷杂质的硅半导体中就具有相当数量的自由电子，这种半导体主要靠自由电子导电，所以称为电子型半导体，简称 N 型半导体，在 N 型半导体中，不但有数量很多的自由电子而且也有少量的空穴存在，自由电子是多数载流子（简称多子），空穴是少数载流子（简称少子），自由电子主要是由五价杂质产生的，而空穴是原半导体由于热或光的激发产生的。

2) P 型（空穴型）半导体

同理，如果在本征硅中掺入微量的三价元素，例如，百万分之几的硼（B）和镓（Ga）等，掺入硼杂质的硅半导体中就具有相当数量的空穴载流子，这种半导体主要靠空穴导电，所以称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。

总之，不管是 N 型还是 P 型半导体，内部都有大量的载流子，导电能力都较强。



视频 PN 结的形成



视频 PN 结的单向导电性



视频 两种载流子



视频 半导体基础知识



文档 知识碎片：半导体基础知识

（二）PN 结

如果通过一定的工艺把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起，则在它们的交界面处就会形成一个具有特殊性能的导电薄层，称为 PN 结。它是构成二极管、三极管、晶闸管以及半导体集成电路等名目众多的半导体器件的核心部分。

知识链接 2 半导体二极管特性及主要参数

（一）半导体二极管的结构和符号

半导体二极管简称二极管，其结构是由一个 PN 结加上相应的电极引线和管壳构成。它有两个电极，由 P 型半导体引出的电极是正极（又叫阳极），由 N 型半导体引出的电极是负极（又叫阴极），如图 1-1-4（a）所示。二极管的外形有多种，如图 1-1-4（c）所示，在电路图中并不需要画出二极管的结构，而是用约定的电路符号和文字符号来表示，二极管的电路符号如图 1-1-4（b）所示，通常用字母 D（或 VD）表示二极管。许多二极管的管壳上标有符号，其极性是不难识别的，对于极性不明的二极管，可以用万用表的电阻挡，测量它的正、反向电阻值，判别出它的正、负电极。

普通二极管有点接触型和面接触型两类结构，如图 1-1-4（d）、（e）所示。点接触型由

于结面积小，因而结电容也小，适用于高频工作，但允许通过的电流很小（几十毫安以下）。国产锗检波二极管 2AP 系列和开关二极管 2AK 系列都属于点接触型二极管。面接触型二极管由于结面积大，因而能通过较大的电流，主要用于整流电路中。国产硅二极管 2CP 和 2CZ 系列都属于面接触型二极管。

（二）二极管的主要特性

1. 二极管导电特性的演示实验

为了了解二极管的导电特性，先来做一个二极管导电特性的演示实验。将二极管串接到由电池和指示灯组成的电路中。按图 1-1-5 (a) 连接电路，观察指示灯是否发亮；将二极管的阴、阳极对调后，按图 1-1-5 (b) 连接电路，再观察指示灯的亮暗情况。通过实验可以发现，当电流由二极管的阳极流入、阴极流出时，指示灯亮，表明二极管的电阻很小，很容易导电，近似为开关的接通状态；若电流要以相反方向通过时，指示灯不亮，表明此时二极管的电阻很大，反向几乎不导电，近似为开关的断开状态。

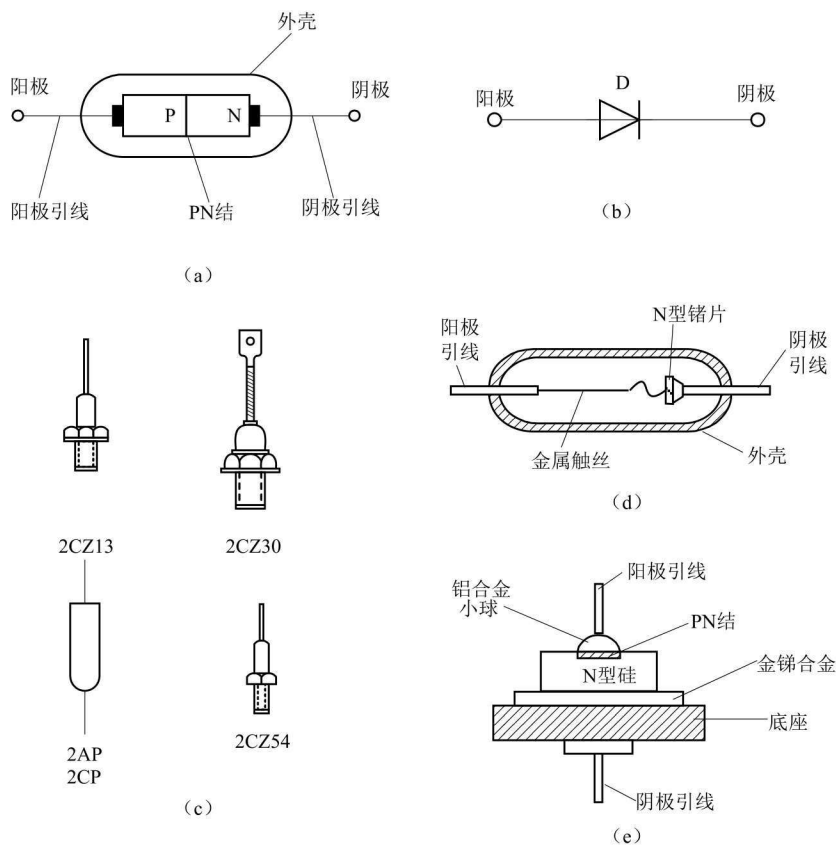


图 1-1-4 二极管的结构、符号、外形和类型

(a) 二极管的结构；(b) 二极管的符号；(c) 二极管的部分外形；

(d) 点接触型二极管；(e) 面接触型二极管

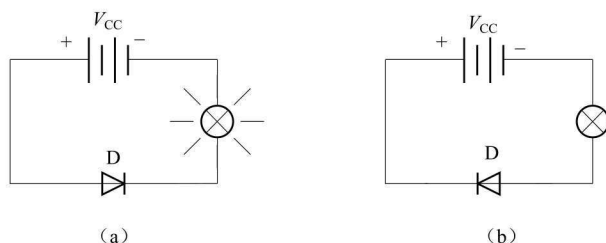


图 1-1-5 二极管单向导电实验

(a) 二极管导通; (b) 二极管截止

2. 二极管的主要特性——单向导电性

通过以上的实验和分析,可以得到二极管导电的主要特性:单向导电(性)。单向导电性是二极管最重要的特性。

所谓二极管单向导电,是说二极管只能一个方向导电,另一个方向不导电;也就是说按二极管符号中箭头的方向,由阳极(P区)往阴极(N区)可以顺利地流电流,而反方向时就不导电。

二极管的单向导电性,只有在其两端外加不同极性的电压时才能表现出来。

1) 二极管的正向导通

在二极管的两电极加上电压,称为给二极管以偏置。并规定,当外加电压使二极管的阳极电位高于阴极电位时,称为二极管的正向偏置,简称正偏。在正向偏置的情况下,二极管的等效电阻很小,近似为开关的接通状态,这就是二极管的正向导通(状态)。这时通过二极管的电流称为正向电流,用 I_F 表示,其大小由外部电路的参数决定。

2) 反向截止(截止即不导通)

当外加电压使二极管的阳极电位低于阴极电位时,称为二极管的反向偏置,简称反偏。在反向偏置的情况下,二极管的等效电阻很大,通过二极管的电流很小,约为零,近似为开关的断开状态。这就是二极管的反向截止(状态)。这时通过二极管的电流称为反向电流,用 I_R 表示,随着反向电压的升高,反向电流几乎保持不变,故称为反向饱和电流,用 I_{sat} 表示。 I_{sat} 虽然很小,但受温度影响很大。

总之,二极管具有单向导电性,即正向导通,反向截止。单向导电性是二极管最重要的特性。

(三) 二极管的伏安特性

粗略地说,二极管的主要特性就是单向导电性,但更准确、全面的(静态)特性,反映在它的伏安特性上。二极管的伏安特性是指通过二极管的电流随其两端电压对应变化的关系。伏安特性是外特性,是内部载流子运动的外在表现形式,对使用者来说,掌握外特性比掌握其内部机理更加重要。伏安特性可以用表达式表示,也可以在 $u-i$ 坐标平面上以曲线的形式描绘出来,称为伏安特性曲线。

1. 二极管的伏安特性曲线

利用晶体管图示仪能十分方便地测出二极管的正、反向伏安特性曲线,如图 1-1-6 所示。

1) 正向特性

正向伏安特性曲线指第一象限部分,它的两个主要特点如下。

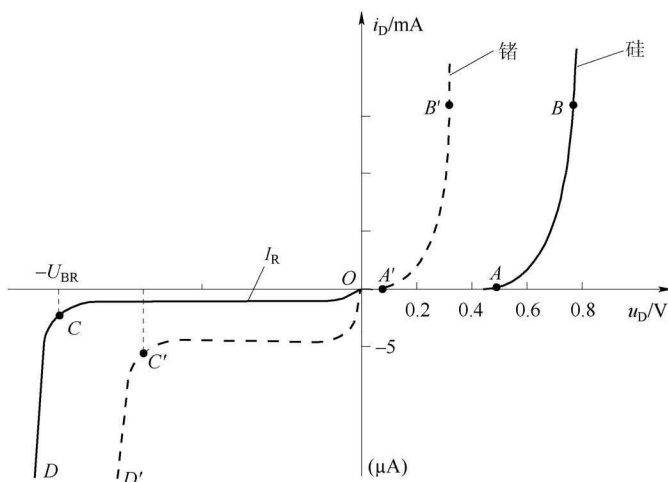


图 1-1-6 二极管伏安特性曲线

(1) 外加电压较小时, 二极管呈现的电阻较大, 正向电流几乎为零, 曲线 OA 段称作不导通区或者死区。一般硅二极管的死区电压约为 0.5 V , 锗二极管约为 0.1 V 。

(2) 正向电压 u_D 超过死区电压时, 二极管正向导通。 AB 段特性曲线很陡, 几乎与横轴垂直, 说明这时通过二极管的电流在很大范围内变化, 而其两端的电压却基本保持不变。 AB 段称作导通区。二极管导通后两端的正向电压称作管压降 (或导通压降), 基本不变。一般硅管的管压降约为 0.7 V , 锗管的管压降约为 0.2 V 。

2) 反向特性

反向伏安特性曲线指第三象限部分, 它的两个主要特点如下。

(1) 反向截止区。当二极管承受反向电压时, 二极管截止, 如曲线 OC 段称为反向截止区。此时仅有很小的反向电流 I_R , 而且反向电流几乎不随反向电压的增大而变化, 所以反向电流也称为反向饱和电流 (或称反向漏电流)。反向饱和电流值越小越好。一般小功率硅管的反向电流较小, 约在 $1\text{ }\mu\text{A}$ 以下, 锗二极管的则达几十微安以上, 大功率二极管会稍大些; 反向电流虽然较小, 但随温度升高而明显增大。

(2) 反向击穿区。当反向电压增大到超过某一个值时 (图中 C 点), 反向电流随反向电压的增加会突然急剧地加大, 这种现象叫作反向击穿。 CD 段称为反向击穿区, 发生击穿时的电压 (图中 C 点) 就叫反向击穿电压 U_{BR} 。击穿后容易造成管子损坏, 因此在实际使用过程中, 加在二极管上的反向电压不允许超过击穿电压 (除稳压管外)。

2. 二极管伏安特性的数学表达式

二极管伏安特性的数学表达式亦称为二极管的电流方程。理论分析表明, 二极管的伏安特性可表示为

$$i_D = I_S (e^{u_D/U_T} - 1) \quad (1-1-1)$$

式中 I_S ——反向饱和电流;

U_T ——温度电压当量, $U_T = kT/Q$, 其中 k 为玻耳兹曼常数, T 为绝对温度, Q 为电子电量。在室温 ($27\text{ }^\circ\text{C}$ 或 300 K) 时 $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

由式 (1-1-1) 知, 若外加电压 $u_D=0$, 则 $i_D=0$ 时, 二极管无电流通过; 若正向电压 $u_D \gg U_T$

(例如 $u_D > 100 \text{ mV}$), 则 $i_D \approx I_S e^{u_D/U_T}$, 即 i_D 与 u_D 近似成指数关系; 若反向电压满足 $|u_D| \gg U_T$ (例如 $u_D < -100 \text{ mV}$), 则 $i_D \approx -I_S$, 即反向电流与反向电压无关, 为一恒定值, 其中负号表示反向电流。

注意, 式 (1-1-1) 不适用于特性曲线击穿时的情况。

通过以上分析可看出, 二极管的伏安特性曲线不是直线, 所以二极管是一个非线性器件。



视频 半导体二极管



动画 二极管结构



动画 二极管特性动画教程



文档 知识碎片: 半导体二极管特性及主要参数

(四) 二极管的主要参数

任何器件都有几个主要参数, 器件的参数是指国标或者制造厂家对生产的半导体器件应达到的技术指标所提供的数据要求, 它反映了器件的技术特性和质量好坏, 它是我们选择和使用器件的重要依据。器件的参数可以通过查半导体手册来获得, 也可以通过实际测量来得到。在实际应用中二极管的主要参数有以下 4 个。

1. 最大整流电流 I_{FM}

最大整流电流通常称为额定工作电流, 是指在规定的环境温度 (通常是 25°C) 和散热条件下, 二极管长期运行时所允许通过的最大正向平均电流。如果通过二极管的实际工作电流超过了 I_{FM} , 会导致二极管因过热而损坏。锗管的允许温度为 $75^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$, 硅管的允许温度为 $75^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ (塑封管) 或 $125^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ (金属封装管)。

当环境温度过高或大功率管子安装的散热装置不符合要求时, 二极管必须降额使用。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

最高反向工作电压通常称为耐压值或额定工作电压, 是指为了保证二极管不至于反向击穿条件下, 而允许加在二极管上的反向电压的峰值。为了确保二极管安全工作, 晶体管手册中给出的最高反向电压 U_{RM} 约为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。在实际运用时二极管所承受的最大反向电压不应超过 U_{RM} , 否则二极管就有发生反向击穿而造成损坏的可能。

3. 反向电流 I_S (或 I_R)

反向电流又称反向饱和电流或反向漏电流, 它指常温下二极管未反向击穿时的电流, 其值越小越好。通常 $I_S \approx 0$, 但温度增加, 反向电流会急剧增大, 所以使用二极管时要注意温度的影响。

4. 最高工作频率 f_M

二极管的 PN 结具有结电容, 随着工作频率的升高, 结电容的容抗减小, 当工作频率超过 f_M 时, 管子将失去它的单向导电特性 (正反向都导通)。所以, f_M 是保持管子单向导电特

性的最高频率。一般小电流二极管的 f_M 高达几百 MHz，而大电流的整流管仅几 kHz。

（五）理想二极管

所谓理想二极管，粗略地说就是最好的二极管。它的特性是：正向导通时，死区电压和导通压降均为零， I_{FM} 为无穷大；反向截止时，反向电流 I_R 为零，反向击穿电压 U_{BR} 为无穷大（并且 $f_M=\infty$ ）。理想二极管可用一理想开关来等效，二极管正向导通时相当于理想开关闭合，反向截止时相当于理想开关断开。在实际应用中，当二极管的导通压降远小于电路中的电源电压，并且反向不击穿时，可认为二极管是理想的，否则应考虑二极管的导通压降。

（六）半导体二极管的型号

二极管的型号和部分参数见附录 2 和附录 3 所示内容。

知识链接 3 二极管整流电路

将交流电变成脉动直流电的过程称为整流，能实现整流功能的电路称为整流电路或整流器。利用半导体二极管的单向导电性可以组成各种整流电路，既简单方便又经济。下面分别介绍单相半波和桥式全波整流电路。

（一）单相半波整流电路

1. 电路组成

单相半波整流电路如图 1-1-7（a）中的虚线框内所示，主要是由整流二极管组成。整流电路的前面通常接有降压电源变压器 T，后面通常接有负载。

2. 工作原理

设电源变压器次级绕组交流电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \quad (1-1-2)$$

其中 U_2 为变压器次级交流电压的有效值。 u_2 的波形如图 1-1-7（b）所示，在 u_2 的正半波期间，变压器的次级绕组上端为正，下端为负。二极管 D 因正向偏置而导通，有电流流过二极管和负载。若略去二极管导通时的正向压降（通常小于 1 V），则 $u_L = u_2$ 。在 u_2 的负半波期间，变压器的次级绕组上端为负，下端为正。二极管 D 因反向偏置而截止，没有电流流过二极管和负载。 R_L 上电压为零，此时，二极管如同开关断开，所以其两端电压 $u_D = u_2$ 。

在图 1-1-7（b）中还画出了负载上的电压和电流的波形图。这种电路利用二极管的单向导电性，使电源电压的半个周期有电流通过负载，负载上得到的电压是交流电压 u_2 的半个周期，故称为半波整流电路。半波整流在负载上得到的是单向脉动直流电压和电流。

3. 负载上的直流电压和电流的计算

直流电压是指一个周期内脉动电压的平均值。对于半波整流电路为

$$U_{L(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_L(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}U_2}{2\pi} \approx 0.45U_2 \quad (1-1-3)$$

即

$$U_{L(AV)} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.45U_2 \quad (1-1-4)$$