

全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材
高等职业教育教学改革精品教材

模拟电子技术 项目教程

MONI DIANZI JISHU
XIANGMU JIAOCHENG

贺力克 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材
高等职业教育教学改革精品教材

模拟电子技术项目教程

主 编	贺力克	
副主编	阳若宁	李 佳
参 编	陈永革	林志程
主 审	邱丽芳	



机械工业出版社

本书是根据国家示范性高职院校的课程建设要求,按照项目引导、任务驱动和教学做一体化的原则进行编写的。

本书以项目为单元,以应用为主线,将理论知识融入到实践项目中。全书有四个项目,包括扬声器的制作与调试、直流稳压电源的制作与调试、函数信号发生器的制作与调试和电子设计软件 EWB 的应用,全书涵盖了模拟电子技术的所有知识点和电子设计软件 EWB 的应用。通过项目任务的练习,可提高学生模拟电子技术的理解,使之能综合运用所学知识完成小型模拟电子电路的制作与调试的全过程,包括查阅资料、识读电路原理图和印制电路板图、选择元器件参数、安装与调试电路以及使用相关仪器进行指标测试和编写实训报告。

本书可作为高职高专和各类成人教育电类专业的“模拟电子技术基础”、“电子技术基础(模拟部分)”课程的教材,也可供从事电子技术方面的工程技术人员参考。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术项目教程/贺力克主编. —北京:机械工业出版社,2011.8
全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材. 高等职业教育教学改革精品教材

ISBN 978-7-111-35700-1

I. ①模… II. ①贺… III. ①模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 172581 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:边萌 责任编辑:崔占军 边萌

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:鞠杨 责任印制:李研

中国农业出版社印刷厂印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·342 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-35700-1

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据国家示范性高职院校的课程建设要求,以实用的模拟电子产品为载体,以工作过程为导向,以任务驱动为主要教学方法而编写的。教材内容有:扬声器的制作与调试,直流稳压电源的制作与调试,函数信号发生器的制作与调试和电子设计软件 EWB 的应用。书中内容完全按照项目式教学法编排,以“够用、适度”为原则,将课程知识点融入于四个项目中,每个项目创设几个学习情境,每个学习情境又分为几个任务,在每一个任务中又分别通过“看一看”、“学一学”、“练一练”、“做一做”、“写一写”等模块,循序渐进地引导学生进入各个学习环节,让学生感觉到学习的乐趣,增强学习的目标性和趣味性。

本书将项目课程的特色贯穿始终,注重项目设置的实用性、可行性和科学性,让抽象的电子理论与形象、直观、有趣的实践相结合,充分调动学生学习的积极性和主动性,让学生在学中做和做中学,教学做合一。通过项目的制作、调试和故障排除等,让学生自主查阅资料、识读电路原理图和印制电路板图、选择元器件参数、安装与调试电路,以完成小型模拟电子电路的制作与调试,并使用相关仪器进行指标测试,最后编写实训报告。此外利用 EWB 软件的元器件库、电路编辑器、测试仪器等,使学生能随心所欲地构造电路,虚拟仿真和演示电路的工作原理和动态工作过程。本书内容可加深和巩固学生对模拟电子技术各知识点的理解,同时提高学生综合运用所学知识、将理论与实际相结合的能力,使学生学完本书后能获得作为高素质技能型专门人才所必须掌握的“模拟电子技术”的基本知识和实际技能,为后续课程的学习和应用打下坚实的基础。

本书建议教学学时为 120 学时。每个项目的时间安排可根据项目内容而定,设计与制作时建议四节课连上。教学项目评价以形成性考核为主,考查学生在项目任务中表现出来的能力,重在考察运用知识解决实际问题的能力。学生考核成绩采取项目评价与总体评价相结合,理论知识考核与实践操作考核相结合的形式,注重动手实践能力。

本书由湖南工业职业技术学院贺力克任主编,湖南网络工程职业学院阳若宁和湖南工业职业技术学院李佳任副主编。项目 1 由贺力克和李佳编写,项目 2 由贺力克编写,项目 3 由湖南网络工程职业学院阳若宁和林志程编写,拓展项目由湖南工业职业技术学院陈永革编写。全书由湖南工业职业技术学院邱丽芳教授主审。在本书编写过程中,参阅了大量的同类教材,部分资料和图片来自于互联网,在这里一并表示感谢!

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高等学校的电气、电子、通信、计算机、自动化和机电等类专业的“模拟电子技术基础”、“电子技术基础（模拟部分）”课程的教材，也可供从事电子技术方面的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免存在错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正（编者邮箱：HLK6666@126.com）。

编 者

目 录

前言

项目1 扬声器的制作与调试 1

学习情境1 认识基本放大电路 2

任务1 认识二极管和晶体管 2

任务2 单管放大电路 19

任务3 认识多级放大电路 32

拓展学习情境 场效应晶体管 41

学习情境2 反馈与振荡 53

任务1 认识负反馈对放大电路的作用 53

任务2 RC 振荡电路 65

任务3 LC 振荡电路 68

学习情境3 功率放大电路 77

任务1 乙类互补对称功率放大电路 (OCL 电路) 77

任务2 甲乙类互补对称功率放大电路 (OTL 电路) 81

任务3 集成功率放大器 85

学习情境4 扬声器制作实例 92

项目2 直流稳压电源的制作与调试 101

学习情境1 认识整流与滤波电路 102

任务1 认识整流电路 102

任务2 认识滤波电路 108

学习情境2 认识直流稳压电路 111

任务1 串联型直流稳压电路 111

任务2 开关稳压电路 116

学习情境3 直流稳压电源制作实例 122

项目3 函数信号发生器的制作与调试 127

学习情境1 集成运算放大电路 128

任务1 差动放大电路 128

任务2 基本运算放大电路 134

学习情境2 信号发生器 147

任务1 电压比较器 147

任务2 方波产生电路 152

任务3 三角波产生电路 155

学习情境3 函数信号发生器制作

实例 159

任务1 用 LM324 制作一个简易函数信号发生器 159

任务2 用专用集成电路 ICL8038 制作函数信号发生器 161

拓展项目 电子设计软件 EWB 的应用 167

学习情境1 认识电子设计软件 EWB 168

任务1 EWB 软件的安装和界面构成 168

任务2 EWB 的电路创建 172

学习情境2 虚拟仪器及其使用 175

任务1 模拟仪器仪表的基本使用方法 175

任务2 电路的仿真分析 179

学习情境3 模拟电子电路的仿真实训与分析 181

任务1 二极管应用电路仿真实训 181

任务2 晶体管放大电路仿真实训 184

任务3 场效应晶体管放大电路仿真实训 186

任务4 互补对称功率放大电路仿真实训 188

任务5 仪器放大器仿真实训 189

任务6 小信号交流放大电路仿真实训 191

任务7 一阶有源低通滤波电路仿真实训 193

任务8 LC 正弦波振荡电路仿真实训 196

任务9 电路分析 198

附录 技能抽查——电子产品开发

试题 200

参考文献 216

项目1 扬声器的制作与调试

本项目学习载体是扬声器的制作与调试。本项目包含三个学习情境：认识基本放大电路，反馈与振荡，功率放大电路，以及一个拓展学习情境：场效应晶体管。在本项目中将学习扬声器原理的基本知识点。这四个学习情境在电子技术实训室进行，扬声器的制作与调试在仿真工厂的生产环境中进行。学生完成本项目的学习后，将学会对扬声器进行整机装配、整机调试及检修。



学习目标

- 了解二极管、晶体管的基本知识。
- 会测量、选用二极管和晶体管。
- 理解共发射极放大电路、共集电极放大电路、共基极放大电路和多级放大电路的组成及工作原理。
- 了解场效应晶体管及其放大电路。
- 理解负反馈放大电路、振荡电路和功率放大电路的组成及工作原理。
- 会用仪器、仪表调试、测量各类放大电路。
- 理解放大电路的分析方法、特点和应用场合。
- 会制作和调试低频功率放大电路、扬声器放大电路。
- 能排除低频功率放大电路、扬声器放大电路中的常见故障。



工作任务

- 用万用表检测二极管、晶体管。
- 制作共发射极电路和共集电极电路、负反馈放大电路、功率放大电路。
- 选择仪器仪表，正确测试各类放大电路的各项参数并分析。
- 制作和调试低频功率放大电路、扬声器放大电路。
- 排除低频功率放大电路、扬声器放大电路中的常见故障。

学习情境 1 认识基本放大电路

学习目标

- 了解半导体常识；了解二极管和晶体管的基本知识。
- 会检测、选用二极管。
- 会检测晶体管的质量、极性和类型，能判别晶体管的工作状态。
- 理解共发射极放大电路的组成和放大原理。
- 能对共发射极放大电路做静态和动态分析。
- 能测量共发射极放大电路中晶体管的各极静态电压。
- 能测量共发射极放大电路的交流输入、输出电压波形。
- 理解多级放大电路的组成及工作原理。

工作任务

- 用万用表检测二极管。
- 判别晶体管的质量、极性、类型和工作状态。
- 测量共发射极放大电路中晶体管的静态电压并分析状态。
- 测量共发射极放大电路中交流输入、输出电压波形并比较。
- 测量多级放大电路中交流输入、输出电压波形并比较。

任务 1 认识二极管和晶体管

◆ 问题引入

当我们打开扬声器、收音机、电视机、音响设备等电器的后盖，就会看到各种各样的电子元器件安装在电路板上，它们如同家庭里的各个成员一样，都在各司其职地工作着。这些元器件的质量直接影响着电器产品的正常运行。学会这些元器件的选择、检测及质量判别是电类专业工作人员及电子爱好者必备的基本技能。

看一看——扬声器

扬声器如图 1-1 所示。

电子电路中主要包括以下元器件：电阻器、电容器、电感器，还有二极管、晶体管等。在电工学中我们已学会了万用表的使用，以及电阻器、电容器和电感器的选择，在此主要介绍二极管和晶体管的相关知识。

◆ 任务描述

看一看——认识二极管

(1) 二极管实物及图形符号分别如图 1-2、图 1-3 所示。

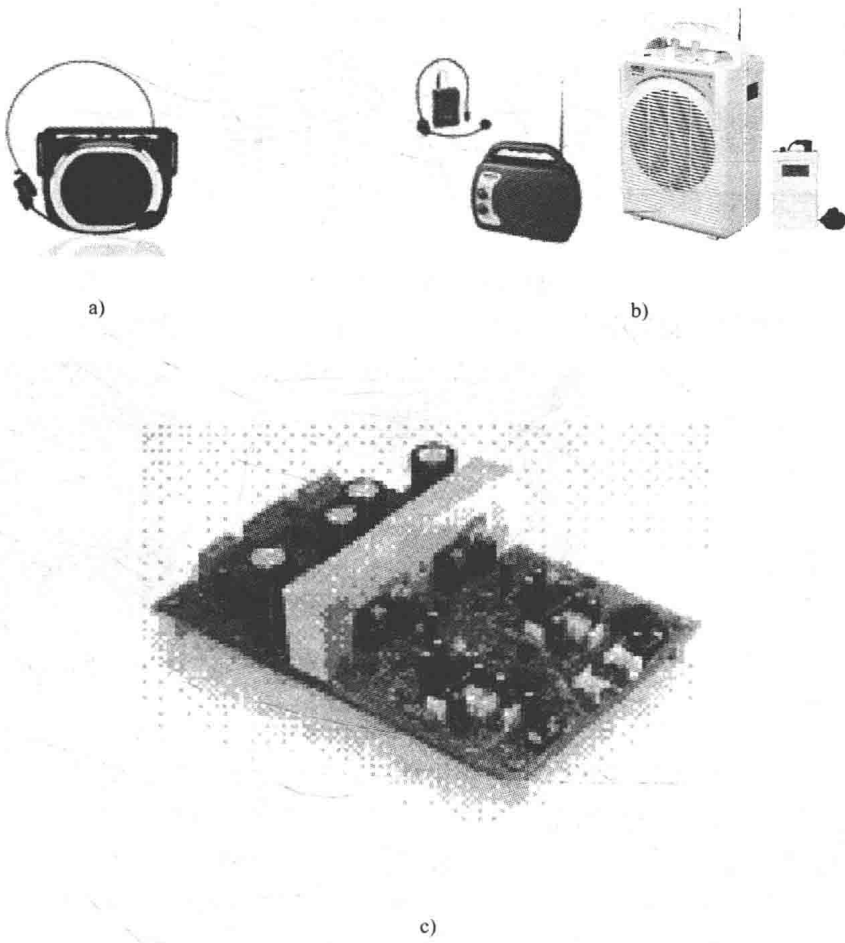


图 1-1 扬声器

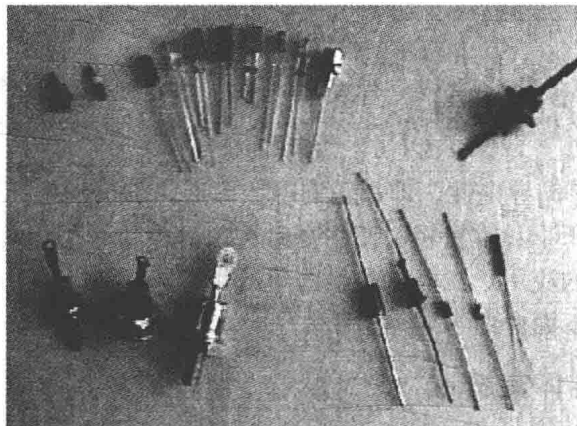


图 1-2 常用二极管实物图

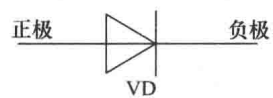


图 1-3 二极管符号

(2) 二极管实物外形正负电极的识别如图 1-4 所示。

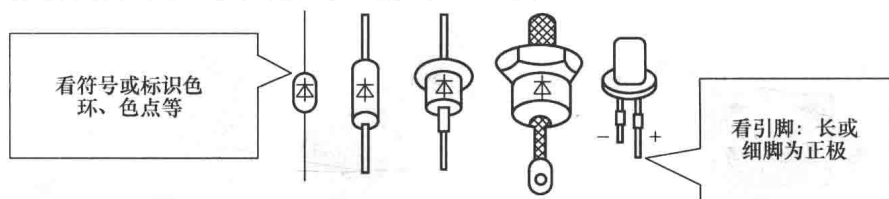


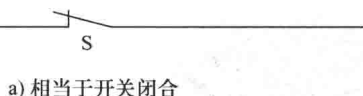
图 1-4 二极管外形识别

(3) 二极管导电性实验如图 1-5 所示。通过实验可观察二极管的导电特性。

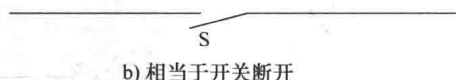


图 1-5 二极管导电性实验

对比二极管正、反两次连接时灯泡的变化情况。若灯泡亮，则说明电流由电源正极经二极管、灯泡流回电源负极，形成回路。此时与电源正极连接的就是二极管正极，与电源负极连接的就是二极管负极，二极管加上了正向电压，称为正向偏置（简称正偏）。此时二极管的正向电阻很小，相当于开关闭合，如图 1-6a 所示。若灯泡不亮，则说明二极管两端加了反向电压，称为反向偏置（简称反偏），此时反向电阻很大，二极管相当于开关断开，如图 1-6b 所示。



a) 相当于开关闭合



b) 相当于开关断开

图 1-6 二极管的开关作用

结论：二极管具有单向导电性，即加正向电压导通，加反向电压截止。

半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和转换效率高等优点，在现代电子技术中得到广泛的应用。二极管是最简单的半导体器件，它由半导体材料制成，其主要特性是单向导电性。下面介绍半导体常识。



学一学——半导体常识

自然界中的物质，按其导电能力可分为三大类：导体、半导体和绝缘体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体；其主要制造材料是硅（Si）、锗（Ge）或砷化镓（GaAs）等。

半导体具有热敏性、光敏性和掺杂性的特点。半导体受光照和热激发便能增强导电能力；掺入微量的三价或五价元素（杂质）能显著增强导电能力。

1. 本征半导体

完全纯净的、结构完整的半导体材料称为本征半导体。纯净的硅和锗都是四价元素，其原子核最外层电子数为4个（价电子）。在单结晶结构中，由于原子排列的有序性，价电子为相邻的原子所共有，形成如图1-7所示的共价键结构。

(1) 本征半导体的原子结构及共价键 共价键内的两个电子由相邻的原子各用一个价电子组成，称为束缚电子。

(2) 本征激发和两种载流子——自由电子和空穴 在室温和光照下，少数价电子获得足够的能量摆脱共价键的束缚成为自由电子。束缚电子脱离共价键成为自由电子后，在原来的位置留出一个空位，称为空穴。温度升高，半导体材料中产生的自由电子便增多。本征半导体中，自由电子和空穴成对出现，数目相同。图1-8所示为本征激发所产生的电子空穴对。

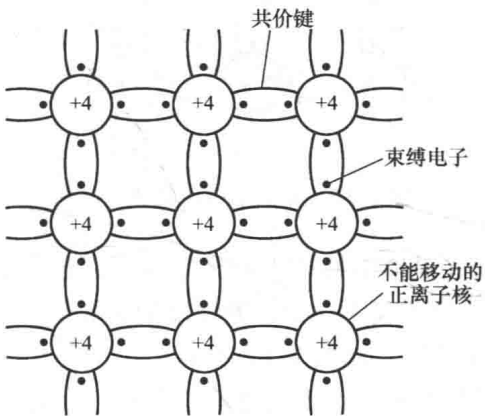


图 1-7 硅和锗的原子结构和共价键结构

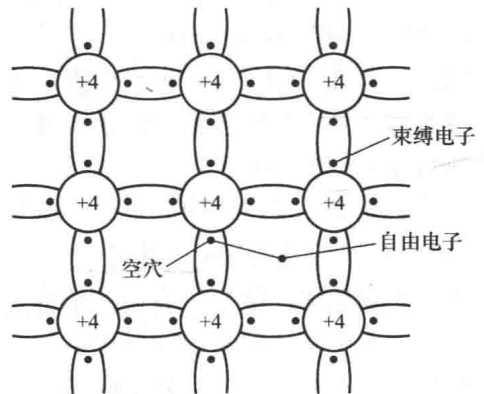


图 1-8 本征激发产生电子空穴对

如图1-9所示，空穴（如图中位置1）出现以后，邻近的束缚电子（如图中位置2）可能获取足够的能量来填补这个空穴，而在这个束缚电子的位置又出现一个新的空穴，另一个束缚电子（如图中位置3）又会填补这个新的空穴，这样就形成束缚电子填补空穴的运动。为了区别自由电子的运动，称此空穴位置的变化为空穴运动。

(3) 结论

1) 半导体中存在两种载流子，一种是带负电的自由电子，另一种是带正电的空穴，它们都可以运载电荷形成电流。

2) 本征半导体中，自由电子和空穴相伴产生，数目相同。

3) 一定温度下，本征半导体中电子空穴对的产生与复合相对平衡，电子空穴对的数目相对稳定。

4) 温度升高，激发的电子空穴对数目增加，半导体的导电能力增强。

空穴的出现是半导体导电区别导体导电的一个主要特征。

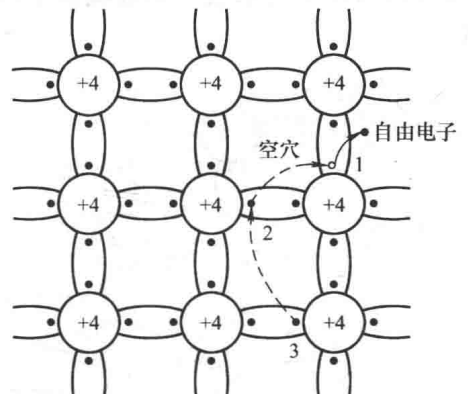


图 1-9 束缚电子填补空穴的运动

2. 杂质半导体

在本征半导体中加入微量杂质，可使其导电性能显著改变。根据掺入杂质的性质不同，杂质半导体分为两类：电子型（N 型）半导体和空穴型（P 型）半导体。

（1）N 型半导体 在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的五价元素，如磷（P）、砷（As）等，则构成 N 型半导体。

五价的元素具有 5 个价电子，它们进入由硅（或锗）组成的半导体晶体中，五价的原子取代四价的硅（或锗）原子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，因为多出的一个价电子不受共价键的束缚，很容易成为自由电子，于是半导体中自由电子的数目大量增加。自由电子参与导电后，在原来的位置留下一个不能移动的正离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的空穴产生，如图 1-10 所示。

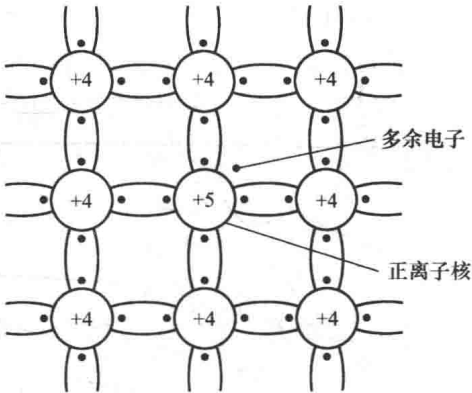


图 1-10 N 型半导体的共价键结构

（2）P 型半导体 在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的三价元素，如硼（B）、镓（Ga）等，则构成 P 型半导体。

三价的元素只有 3 个价电子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，由于缺少一个价电子，在晶体中便产生一个空穴，邻近的束缚电子如果获取足够的能量，有可能填补这个空穴，使原子成为一个不能移动的负离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的自由电子产生，如图 1-11 所示。

P 型半导体中，空穴为多数载流子（多子），自由电子为少数载流子（少子）。P 型半导体主要靠空穴导电。

3. PN 结及其单向导电性

（1）PN 结的形成 多数载流子因浓度上的差异而形成的运动称为扩散运动，如图 1-12 所示。

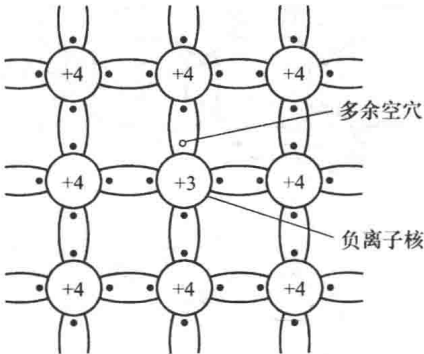


图 1-11 P 型半导体的共价键结构

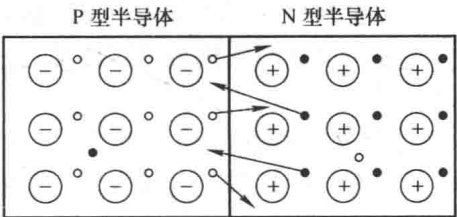


图 1-12 P 型和 N 型半导体交界处载流子的扩散

由于空穴和自由电子均是带电的粒子，所以扩散的结果使 P 区和 N 区原来的电中性被破坏，在交界面的两侧形成一个不能移动的带异性电荷的离子层，称为空间电荷区，即 PN 结，如图 1-13 所示。

在空间电荷区，多数载流子已经扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此又称空

间电荷区为耗尽层。

空间电荷区出现后,因为正负电荷的作用,将产生一个从N区指向P区的内电场。内电场的方向,会对多数载流子的扩散运动起阻碍作用。同时,内电场可推动少数载流子(P区的自由电子和N区的空穴)越过空间电荷区,进入对方。少数载流子在内电场作用下有规则的运动称为漂移运动。漂移运动和扩散运动的方向相反。无外加电场时,通过PN结的扩散电流等于漂移电流,PN结中无电流流过,PN结的宽度保持一定而处于稳定状态。

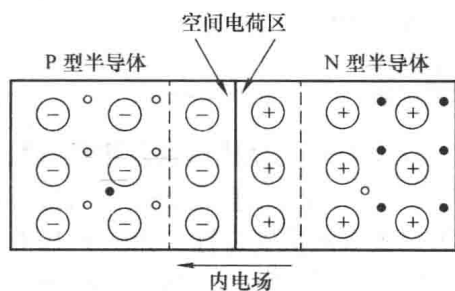


图 1-13 PN 结的形成

(2) PN 结的单向导电性 如果在 PN 结两端加上不同极性的电压,PN 结会呈现出不同的导电性能。

1) PN 结外加正向电压 在 PN 结的 P 端接高电位, N 端接低电位,称 PN 结外加正向电压,又称 PN 结正向偏置,简称为正偏,如图 1-14 所示。外加电场与 PN 结形成的内电场方向相反, P 区的多子空穴(相当于正电荷)顺着外电场方向往中间运动,与 PN 结空间电荷区的负离子复合; N 区的自由电子(多子且为负电荷),逆着外电场方向也向中间靠拢,与 PN 结中的正离子复合,形成电中和,使得内电场的正负离子数都减少,耗尽层变窄,内电场被削弱。但空穴与正离子、电子与负离子均相互排斥,复合后剩下的正负离子数达到最少数量时,PN 结停止变窄,内电场达到最弱程度,形成导通压降(很小);多子在外电场作用下与空间电荷区的离子电中和产生的定向扩散运动,形成导通电流,导通方向就是多子空穴的运动方向。

2) PN 结外加反向电压 在 PN 结的 P 端接低电位, N 端接高电位,称 PN 结外加反向电压,又称 PN 结反向偏置,简称为反偏,如图 1-15 所示。外加电场与 PN 结形成的内电场方向相同, P 区的多子空穴(相当于正电荷)顺着外电场方向向 P 区运动,使负离子数量增多,靠近 PN 结空间电荷区的电中和被破坏; N 区的自由电子(多子且为负电荷),逆着外电场方向向 N 区运动,使正离子数量增多,这样就使得内电场的正负离子数都增多,耗尽层变宽加厚,内电场被加强。但空穴与电子不能完全复合,正负离子数达到最多数量时,PN 结停止变宽,内电场达到最强程度,形成反向饱和压降(很大)。多子在外电场作用下的定向扩散运动受阻,少子的漂移运动形成极小的反向电流,几乎不能算作导通,称为截止状态。反向饱和电流方向由 N 区指向 P 区。

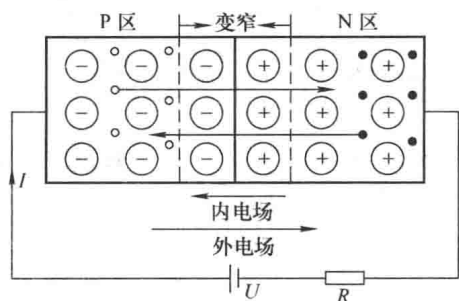


图 1-14 PN 结外加正向电压

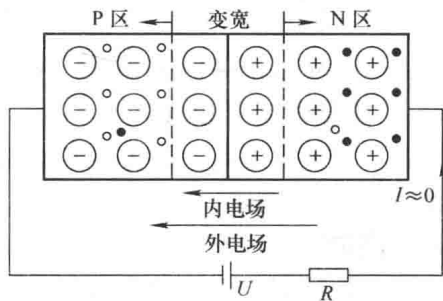


图 1-15 PN 结外加反向电压

PN 结的单向导电性是指 PN 结外加正向电压时处于导通状态, 外加反向电压时处于截止状态。

学一学——二极管

1. 二极管的伏安特性及主要参数

(1) 二极管的伏安特性 二极管两端的电压 U 及流过二极管的电流 I 之间的关系曲线, 称为二极管的伏安特性, 如图 1-16 所示。

1) 正向特性 二极管外加正向电压时, 电流和电压的关系称为二极管的正向特性。由图 1-16 可见, 当二极管所加正向电压比较小时 ($0 < U < U_{(TO)}$), 二极管上流经的电流为 0, 管子仍截止, 此区域称为死区, $U_{(TO)}$ 称为死区电压 (门槛电压)。硅二极管的死区电压约为 0.5V, 锗二极管的死区电压约为 0.1V。

2) 反向特性 二极管外加反向电压时, 电流和电压的关系称为二极管的反向特性。由图 1-16 可见, 在常温下, 二极管外加反向电压时, 反向电流很小 ($I \approx -I_R$), 而且在相当宽的反向电压范围内, 反向电流几乎不变, 因此, 称此电流为二极管的反向饱和电流。

3) 反向击穿特性 由图 1-16 可见, 当反向电压的值增大到 $U_{(BR)}$ 时, 反向电压值稍有增大, 反向电流会急剧增大, 称此现象为反向击穿, $U_{(BR)}$ 为反向击穿电压。利用二极管的反向击穿特性, 可以做成电压调整二极管 (稳压二极管), 但一般的二极管不允许工作在反向击穿区。

(2) 二极管的温度特性 二极管是对温度非常敏感的器件。实验表明, 随温度升高, 二极管的正向压降会减小, 正向伏安特性左移, 即二极管的正向压降具有负的温度系数 (约为 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$); 温度升高, 反向饱和电流会增大, 反向伏安特性下移, 温度每升高 10°C , 反向电流大约增加一倍。图 1-17 所示为温度对二极管伏安特性的影响。

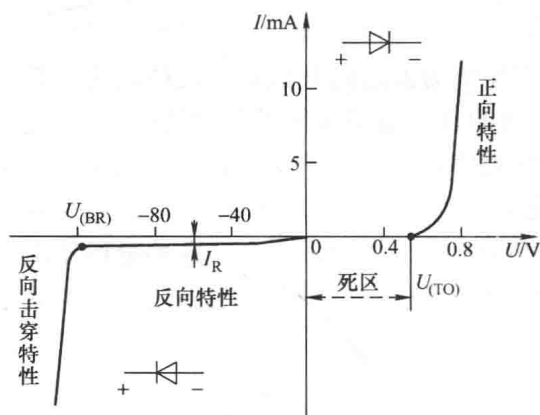


图 1-16 二极管的伏安特性

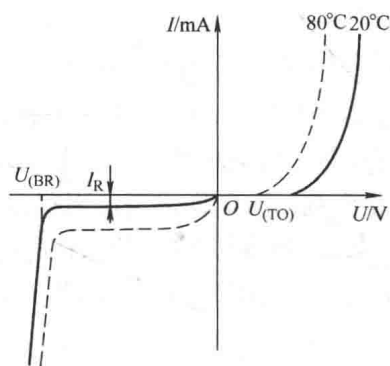


图 1-17 二极管的温度特性

(3) 二极管的主要参数

1) 最大整流电流 I_F 最大整流电流 I_F 是指二极管长期正常工作时, 允许通过二极管的最大正向电流的平均值。

2) 反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 反向击穿电压是指二极管击穿时的电压值。

3) 反向饱和电流 I_R 反向饱和电流是指管子没有击穿时的反向电流值。其值越小, 说明二极管的单向导电性越好。

2. 特殊二极管

(1) 稳压管 稳压管是一种用特殊工艺制作的面接触型硅半导体二极管，这种管子的杂质浓度比较大，容易发生击穿，其击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化，从而达到稳压的目的。稳压管工作于反向击穿区。

1) 稳压管的伏安特性和符号 图 1-18 所示为稳压管的伏安特性和符号。

2) 稳压管的主要参数

① 稳定电压 U_Z 它是指当稳压管中的电流为规定值时，稳压管在其两端产生的稳定电压值。

② 稳定电流 I_Z 它是指稳压管工作在稳压状态时，稳压管中流过的电流，有最小稳定电流 I_{Zmin} 和最大稳定电流 I_{Zmax} 之分。

③ 耗散功率 P_M 它是指稳压管正常工作时，管子上允许的最大耗散功率。

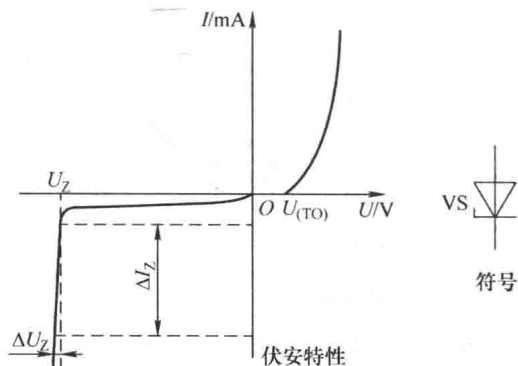


图 1-18 稳压二极管的伏安特性和符号

① 稳压管稳压时，一定要外加反向电压，保证管子工作在反向击穿区。当外加的反向电压值大于或等于 U_Z 时，才能起到稳压作用；若外加的电压值小于 U_Z ，稳压二极管相当于普通的二极管。

② 在稳压管稳压电路中，一定要配合限流电阻的使用，保证稳压管中流过的电流在规定的范围之内。

(2) 发光二极管 发光二极管是一种光发射器件，英文缩写是 LED。此类管子通常由镓 (Ga)、砷 (As)、磷 (P) 等元素的化合物制成。当管子正向导通，且导通电流足够大时，能把电能直接转换为光能，发出光来。目前发光二极管的颜色有红、黄、橙、绿、白和蓝六种，所发光的颜色主要取决于制作管子的材料，例如用砷化镓发出红光，而用磷化镓则发出绿光。其中白色发光二极管是新型产品，主要应用在手机背光、液晶显示器背光、照明等领域。

发光二极管工作时导通电压比普通二极管大，其工作电压随材料的不同而不同，一般为 1.7~2.4V。普通绿、黄、红、橙色发光二极管工作电压约为 2V；白色发光二极管的工作电压通常高于 2.4V；蓝色发光二极管的工作电压一般高于 3.3V。发光二极管的工作电流一般在 2~25mA。

发光二极管应用非常广泛，常用作各种电子设备如仪器仪表、计算机、电视机等的电源指示灯和信号指示等，还可以做成七段数码显示器等。

普通发光二极管的符号和外形如图 1-19 所示。



图 1-19 发光二极管的符号和外形

(3) 光敏二极管 光敏二极管又称为光电二极管，它是一种光接受器件，其 PN 结工作在反偏状态，可以将光能转换为电能，实现光电转换。图 1-20 所示为光敏二极管的基本电路和符号。

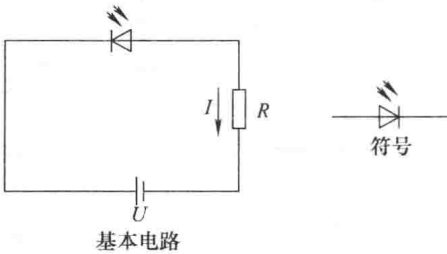


图 1-20 光敏二极管的基本电路和符号

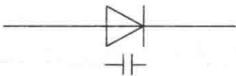


图 1-21 变容二极管的符号

(5) 激光二极管 激光二极管是在发光二极管的 PN 结间安置一层具有光活性的半导体，构成一个光谐振腔，工作时接正向电压，可发射出激光。

激光二极管的应用非常广泛，在计算机的光盘驱动器、激光打印机中的打印头、激光唱机、激光影碟机中都有激光二极管。

 练一练——二极管的测试

1. 二极管极性的判定

将红、黑表笔分别接二极管的两个电极，若测得的电阻值很小（几千欧姆以下），则黑表笔所接电极为二极管的正极，红表笔所接电极为二极管的负极；若测得的阻值很大（几百千欧姆以上），则黑表笔所接电极为二极管的负极，红表笔所接电极为二极管的正极，如图 1-22 所示。

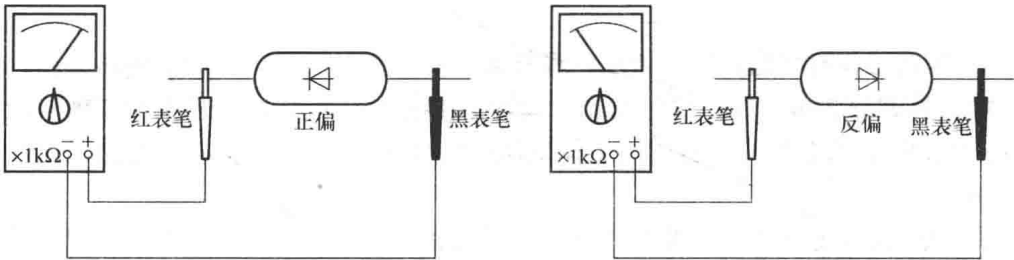


图 1-22 二极管极性的测试

2. 二极管好坏的判定

(1) 若测得的反向电阻很大（几百千欧姆以上），正向电阻很小（几千欧姆以下），表明二极管性能良好。

(2) 若测得的反向电阻和正向电阻都很小，表明二极管短路，已损坏。

(3) 若测得的反向电阻和正向电阻都很大，表明二极管断路，已损坏。

二极管质量的简易判断见表 1-1。

表 1-1 二极管质量的简易判断

正 向 电 阻	反 向 电 阻	二极管状况
较小（几千欧姆以下）	较大（几百千欧姆以上）	质量好
0	0	短路
∞	∞	开路
正向电阻、反向电阻比较接近		质量不佳

3. 检测

准备以下型号二极管共 5 只，将检测结果填入表 1-2 中。

表 1-2 检测结果

编 号	型 号	正 向 电 阻		反 向 电 阻		二极管质量	
		挡位	阻值	挡位	阻值	好	坏
1	2AP9						
2	2CW104						
3	2CZ11						
4	1N4148						
5	1N4007						

看一看——认识晶体管外形、分类与电路符号

常见晶体管如图 1-23 所示。表 1-3 所列为晶体管的分类。



图 1-23 几种常见晶体管外形

表 1-3 晶体管的分类

分 类 方 法	种 类	
按功率分类	小功率晶体管（耗散功率小于 1W）	大功率晶体管（耗散功率不低于 1W）
按用途分类	放大管	开关管
按工作频率分类	低频率（工作频率在 3MHz 以下）	高频率（工作频率不低于 3MHz）
按结构工艺分类	合金管	平面管
按内部基本结构分类	NPN 型	PNP 型
按管芯所用半导体材料分类	硅管	锗管

晶体管的文字符号为“VT”，内部结构及图形符号如图 1-24 所示。它是通过一定的制作工艺，将两个 PN 结结合在一起的器件，两个 PN 结相互作用，使晶体管成为一个具有控制电流作用的半导体器件。晶体管可以用来放大微弱的信号和作为无触点开关。