



模拟电子技术

Technology

董光 毕维峰 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

模拟电子技术

Technology

主 编 董 光 毕维峰

副主编 张 炯 胡华文 王育波 刘旭东



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书结合模拟电子技术课程特点,以高等人才培养为目标,按照“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的教学改革和课程改革思路来编写。重点介绍了半导体器件、三极管电压放大器、集成运放及应用、低频功率放大器、信号发生器、直流稳压电源等内容。

本书可作为高等院校电子、电气、通信、计算机、自动化、机电等专业模拟电子技术课程的教材,也可供相关专业的教师和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/董光,毕维峰主编. —北京:北京理工大学出版社,
2012.8

ISBN 978-7-5640-6584-3

I. ①模… II. ①董…②毕… III. ①模拟电路-电子技术-高等学校-
教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第186924号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京慧美印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16.5

字 数/382千字

版 次/2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

印 数/1~1500册

定 价/48.00元

责任编辑/李志敏

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

模拟电子技术是高等院校工科专业中一门重要的专业基础课。模拟电子电路区别于以前所学电路的主要方面是电路中引入了各种电子器件。电子器件的类型很多,目前使用得最广泛的是半导体器件。由于本课程的任务不是研究这些器件内部的物理过程,而是讨论它们的应用,因此,本书在简单介绍这些器件的外部特性的基础上,主要讨论它们的应用电路。

本书以项目为单元,以应用为主线,将理论知识融入到每一个教学项目中,通过不同的项目和任务来引导学生,在“必需、够用”的原则下,总结多年的教学实践经验编写而成。突出实用性是编写本教材的指导思想,按照高职高专培养目标的要求,书中一方面对模拟电子技术的基础概念、基本理论和基本分析方法都进行了必要和适当的阐述,另一方面也充分考虑到器件辨识、电路调试等技能训练方面的内容,重点介绍大量元件、集成芯片及它们的使用,将知识融于任务实施中。

按照先元件后电路、先分立后集成、先小信号后大信号、先单元电路后电路设计的顺序先后设立了六个单元项目,一个综合项目,又在附录中介绍了简单的电子器件与设计的基础知识。

项目内容选取力求具有典型性和可操作性,以项目任务为出发点,激发学生的学习兴趣。在教学安排上,紧密围绕项目开展,创设教学情境,尽量做到教、学、做一体化。每个任务从任务导入、任务描述到任务实施,完成本次讲授的全部重点;知识链接是任务的必要补充;知识拓展所涉及的内容是知识的进一步延伸;另外在有的任务中我们加入了任务制作,选取了部分身边可接触到的一些小电子产品,有兴趣的同学可以试着做一做。

项目的选择遵循真实性、趣味性、可操作性和可拓展性,整体安排按学习规律从简到繁、从易到难、从模仿到创新,按照工作过程,从掌握方法、培养能力、学会做事为指导思想,以提高学生职业能力和综合素质为目标,有效实施教学,实现了教学中理论与实践的一体化,学做的一体化,使学生乐在学中,学中有乐,做中学,学中做,提升了学生的各项能力,使教学与就业近距离化。

本书由董光、毕维峰担任主编,张炯、胡华文、王育波、刘旭东担任副主编,项目一、项目二由董光老师编写,项目三、项目四由毕维峰老师编写,项目五由张炯、胡华文老师共同编写,项目六由王育波、刘旭东老师共同编写。盖晓晶、宋震宇、张庆丰、宋慧、张影、马莹莹老师也参与了本教材的编写工作在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请各位读者批评指正。

Contents 目录

Contents

【总目次】

【分目次】

项目一 半导体器件认知	1
任务1 二极管的识别和检测	1
任务2 特殊二极管应用电路	12
任务3 晶体三极管识别	19
任务4 晶体管电流放大测试	27
任务5 晶闸管识别与测试	43
【项目小结】	49
【项目习题】	50
项目二 三极管电压放大器	55
任务1 共射极单管放大器	55
任务2 共集电极放大器	74
任务3 多级放大器设计	86
任务4 差动放大器	95
任务5 简易光声控灯设计	107
【项目小结】	111
【项目习题】	112
项目三 集成运放及应用	120
任务1 负反馈放大器设计	120
任务2 集成运放线性应用(1)比例运算电路	133
任务3 集成运放线性应用(2)加减法运算	141
任务4 集成运放线性应用(3)积分微分运算	150
任务5 集成运放非线性应用——电压比较器	158
【项目小结】	165
【项目习题】	165
项目四 低频功率放大器	172
任务1 分立元件功放电路设计	172
任务2 集成音频功放制作与测试	184
【项目小结】	189
【项目习题】	189

项目五 信号发生器	194
任务1 RC 正弦波振荡器	194
任务2 非正弦波振荡器	205
任务3 函数发生器设计	216
【项目小结】	220
【项目习题】	220
项目六 直流稳压电源	223
任务1 简单直流稳压电源	223
任务2 固定输出集成直流稳压电源设计	233
任务3 可调式直流稳压电源设计	241
【项目小结】	249
【项目习题】	250
附录A 电阻器的标称值及精度色环标志法	255
附录B 半导体器件型号的命名方法	256
.....	【附录B】
.....	【附录B】
.....	三 二目页
.....	共 1 卷升
.....	共 2 卷升
.....	共 3 卷升
.....	共 4 卷升
.....	共 5 卷升
.....	共 6 卷升
.....	共 7 卷升
.....	【附录B】
.....	【附录B】
.....	三 三目页
.....	共 1 卷升
.....	共 2 卷升
.....	共 3 卷升
.....	共 4 卷升
.....	共 5 卷升
.....	【附录B】
.....	【附录B】
.....	四 四目页
.....	共 1 卷升
.....	共 2 卷升
.....	【附录B】
.....	【附录B】

项目一

半导体器件认知

【项目描述】

在信息技术的各个领域，以半导体材料为基础制作的各种器件——二极管、稳压管、晶体管、场效应管等，在人们的生活中几乎无所不及，不断地改变着人们的生活方式、思维方式，提高了人们的生活质量，促进了人类社会的文明进步。它们可用作信息传输，信息存储，信息探测，激光与光学显示，各种控制等等。

【项目任务】

半导体器件是构成各种电子电路的基础器件。无论是分立元件电路还是集成电路，无论是模拟电路还是数字电路，都离不开半导体器件。半导体器件的认知将通过5个任务进行，主要分析它们的外部特性、主要参数及应用。

➤ 二极管的识别和检测

➤ 特殊二极管应用

➤ 晶体三极管识别

➤ 晶体三极管电流放大测试

➤ 晶闸管识别与测试

任务1 二极管的识别和检测



任务导入

在半导体器件的大家族中，二极管是诞生最早的成员。很久以前，人们热衷于装配一种矿石收音机来收听无线电广播，这种矿石后来就被做成了二极管。半导体二极管简称二极管，核心就是PN结，其主要特性是单向导电性。不同类型的二极管各具特色。



任务描述

半导体二极管内部实质是一个PN结，具有单向导电性。

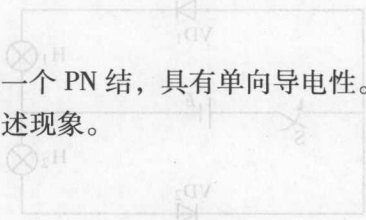
以前学过的电阻不存在上述现象。



任务实施

一、二极管的识别

图1.1.1为两种普通二极管，从二极管的外壳标志或封装形状，我们可以区分出两管脚的正、负极性。小型塑料封装的二极管通常在负极一端印上一道色环作为负极



标记。

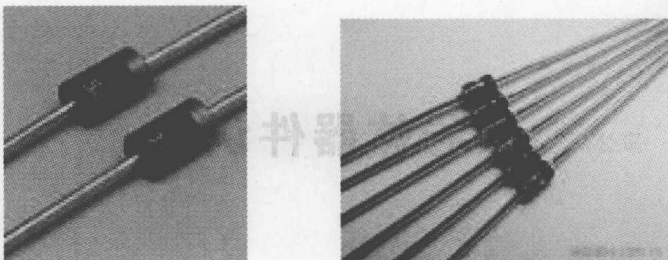


图 1.1.1 常见二极管

制作时将 PN 结用外壳封装起来，并加上电极引线后就构成二极管。由 P 区引出的电极称为二极管的阳极（或正极），由 N 区引出的电极称为二极管的阴极（或负极），二极管的结构和符号如图 1.1.2 所示。在电子电路中，用符号 D 或 V 或 VD 来表示。

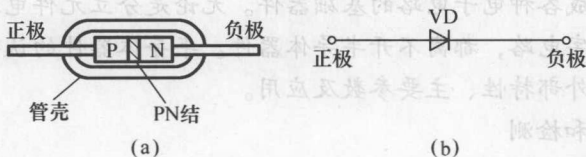


图 1.1.2 二极管的结构和符号

(a) 二极管的结构；(b) 二极管的符号

在看电路图时，初学者往往对二极管的符号哪边是正极、哪边是负极弄不清楚，这时不妨采用类比法进行区分：可把二极管的符号看成是一个漏斗（口大下边小），水只能从漏斗大口入、从小口出，水流即电流，电流是由二极管的正极入、负极出的，这样就能很自然地记住符号的三角形一边是二极管的正极了。

二、二极管的单向导电性

我们以前学过电阻器件的一些知识，知道电阻在使用时没有极性，二极管则不同。

1. 二极管单向导电性观察

取 2 个 IN4007，按图 1.1.3 所示连接电路，观察灯泡 H_1 、 H_2 亮灭情况。



图 1.1.3 二极管单向导电性观察

通过上述实验，可以观察到两个二极管接法分别代表二极管的两种状态：

1) 二极管正偏导通

二极管 P 端接高电位, N 端接低电位, 即其内部 PN 结外加正向电压, 又称正向偏置, 简称为正偏。

二极管 VD_1 正偏, P 接电源 ____ 极, N 接电源 ____ 极, 灯泡 H_1 ____。

2) 二极管反偏截止

二极管 P 端接低电位, N 端接高电位, 即其内部 PN 结外加反向电压, 又称反向偏置, 简称为反偏。

二极管 VD_2 反偏, P 接电源 ____ 极, N 接电源 ____ 极, 灯泡 H_2 ____。

2. 电阻与二极管的不同

1) 电阻测量

取 $1\text{ k}\Omega$ 电阻, 将万用表置于欧姆挡, 用表笔分别正、反接电阻管的两端引脚, 分别测得两个方向电阻值, 填入表 1.1.1。

2) 二极管的极性

使用万用表判别普通二极管特性及质量好坏, 记录测得的正向、反向电阻的电阻值, 将数据填入表 1.1.1。

将万用表置于欧姆挡, 用表笔分别正、反接二极管的两端引脚, 分别测得大、小两个电阻值。其中较大阻值是二极管的反向阻值, 此时万用表正极表笔所接为二极管 N 区; 较小阻值是二极管的正向阻值, 此时万用表正极表笔所接为二极管 P 区。

判断二极管的好坏关键是看它有无单向导电性, 正向电阻越小, 反向电阻越大的二极管质量越好; 如果一个二极管正、反向电阻值相差不大, 则必为劣质管。

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。

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。

表 1.1.1 测量数据

器件名称	偏压	电阻阻值	好/坏
电阻 $1\text{ k}\Omega$	正向		
	反向		
二极管 IN4007	正向		
	反向		
二极管 FR301	正向		
	反向		

该测试说明二极管具有单向导电性。当外加正向电压时, 二极管导通呈低电阻; 当外加反向电压时, 二极管截止呈高电阻。

三、二极管特性

1. 伏安特性认识

一般的电阻是线性器件, 阻值与外加电压的大小和方向无关, 其伏安特性是一条通过

原点的直线，如图 1.1.4 所示。

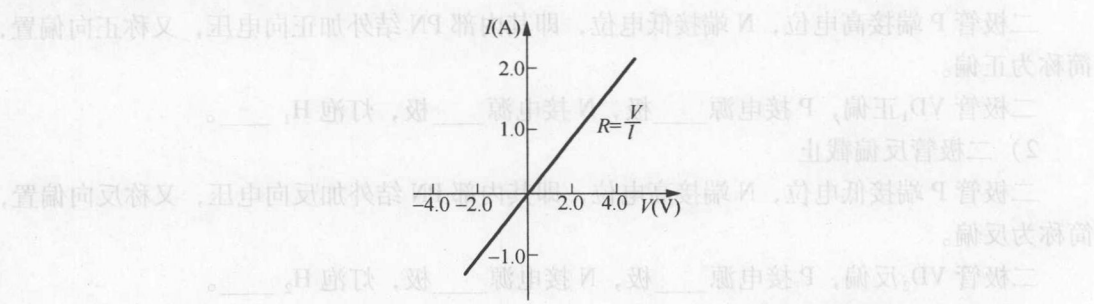


图 1.1.4 线性电阻的伏安特性

二极管为非线性器件，其伏安特性是一条曲线，用万用表不同挡位测量二极管，其直流电阻不同，完成表 1.1.2。

表 1.1.2 二极管非线性测试

元器件	万用表挡位	正向电阻	反向电阻
IN4007	2 kΩ		
	200 kΩ		
	2 MΩ		
1 kΩ 电阻	2 kΩ		
	200 kΩ		
	2 MΩ		

2. 二极管的导通电压及材料测试

二极管按半导体材料来分类，常用的有硅二极管、锗二极管等。

当加在二极管两端的正向电压很小时，二极管仍然不能导通，流过二极管的正向电流十分微弱。只有当正向电压达到某一数值（这一数值称为“门槛电压”，又称“死区电压”，锗管约为 0.1 V，硅管约为 0.5 V）以后，二极管才能真正导通。导通后二极管两端的电压基本上保持不变（锗管约为 0.3 V，硅管约为 0.7 V），称为二极管的“正向压降”或“导通电压”。

普通 DT830B 型等数字万用表设有专门测量晶体二极管的挡位，可进行正向压降测量和管子好坏的判断。首先，将万用表的挡位选择开关旋至测量二极管的“ $\rightarrow|+$ ”档位置，把红表笔插头插入“VΩmA”插孔，黑表笔插头插入“COM”插孔。然后，将红表笔（注意：极性为正“+”）接待测晶体二极管的正极，黑表笔接晶体二极管的负极，此时液晶屏直接显示出所测晶体二极管的正向压降近似值。反过来测量，显示“1”，说明二极管是好的。如果正、反测量都显示“1”，说明晶体二极管内部已经开路。

根据二极管导通电压数值可以判断是硅或锗管，0.7 伏左右为硅二极管，0.3 伏左右为锗二极管。

IN4007 导通电压：_____ 伏，为_____ 二极管。

FR301 导通电压：_____ 伏，为_____ 二极管。

此测试说明二极管是非线性电阻，二极管导通时存在导通压降，材料不同，导通电压也不同。



知识链接

1.1.1 半导体二极管的结构及分类

在PN结的两端引出金属电极，外加玻璃、金属或塑料封装，就做成半导体二极管。根据不同分类标准，半导体二极管可以分成不同类别。

1. 按半导体材料来分类，常用的有硅二极管、锗二极管等。
2. 按工艺结构来分类，有点接触型、面接触型和平面型二极管三种，如图 1.1.5 所示。

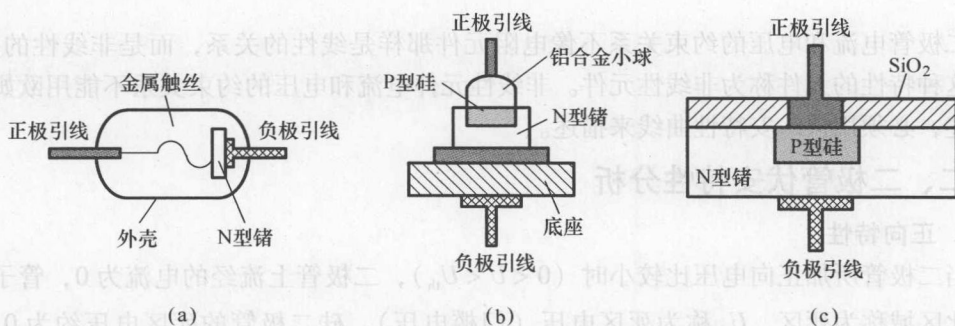


图 1.1.5 二极管的内部结构

(a) 点接触型二极管；(b) 面接触型二极管；(c) 平面型二极管

点接触型二极管：PN 结面积小，结电容小，用于检波和变频等高频电路。

面接触型二极管：PN 结面积大，结电容大，用于低频大电流整流电路。

平面型二极管：PN 结面积大小可控。结面积大，用于大功率整流；结面积小，用于高频电路。

3. 按封装形式来分类，常见的二极管有金属、塑料和玻璃三种。

4. 按照应用的不同，分为整流二极管、检波二极管、开关二极管、稳压二极管、发光二极管、光电二极管、肖特基二极管和变容二极管等。

1.1.2 二极管的伏安特性

二极管由一个 PN 结构成，因此它同样具有单向导电性。

一、二极管的伏安特性曲线

二极管电流 I 随外加于二极管两端的电压 U 的变化规律曲线 $I=f(U)$ ，称为二极管的伏安特性曲线，如图 1.1.6 所示。

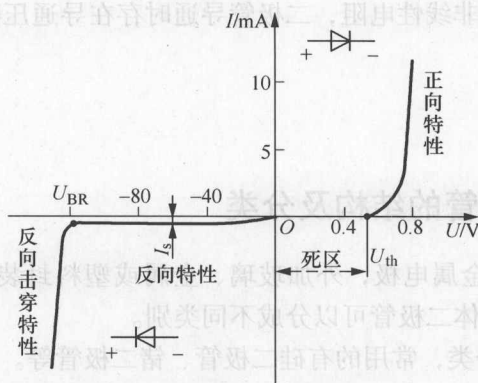


图 1.1.6 二极管的伏安特性曲线

二极管电流和电压的约束关系不像电阻元件那样是线性的关系，而是非线性的关系，具有这种特性的元件称为非线性元件。非线性元件电流和电压的约束关系不能用欧姆定律来描述，必须用伏-安特性曲线来描述。

二、二极管伏安特性分析

1. 正向特性

当二极管所加正向电压比较小时 ($0 < U < U_{th}$)，二极管上流经的电流为 0，管子仍截止，此区域称为死区， U_{th} 称为死区电压（门槛电压）。硅二极管的死区电压约为 0.5 V，锗二极管的死区电压约为 0.1 V。

二极管所加正向电压大于死区电压时，正向电流增加，管子导通，电流随电压的增大而上升，二极管呈现电阻很小，二极管处于正向导通状态，其值几乎不变。常温下，硅二极管的正向导通压降约为 0.7 V，锗二极管的正向导通压降约为 0.3 V。

2. 反向特性

二极管外加反向电压时，反向电流很小 ($I \approx -I_s$)，而且在相当宽的反向电压范围内，反向电流几乎不变，因此，称此电流值为二极管的反向饱和电流（室温下，小功率硅管的反向饱和电流 I_s 小于 0.1 μA ，锗管为几十微安）。二极管呈现的电阻很大，管子处于反向截止状态。

3. 反向击穿特性

当反向电压的值增大到 U_{BR} 时，反向电压的绝对值稍有增大，反向电流便会急剧增大，称此现象为反向击穿（即电击穿）， U_{BR} 为反向击穿电压。

引起电击穿的临界电压称为二极管反向击穿电压。二极管的击穿分成电击穿和热击穿两种情况。电击穿时二极管失去单向导电性，如果二极管没有因电击穿而引起过热，则单向导电性不一定会被永久破坏，在撤除外加电压后，其性能仍可恢复，即电击穿是可逆的；当二极管较长时间处于电击穿状态时，由于流过二极管的反向电流很大，管内的 PN 结因为发热而导致损坏，在去掉反向电压后，二极管也不会恢复正常特性，此时的热击穿是永久性击穿，不可逆。

因而使用时应在电路中采取适当的限压措施，才能保证电击穿不会演变成热击穿，以

避免损坏二极管。

三、二极管的温度特性

二极管是对温度非常敏感的器件,如图 1.1.7 所示。随温度升高,二极管的正向压降减小,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。

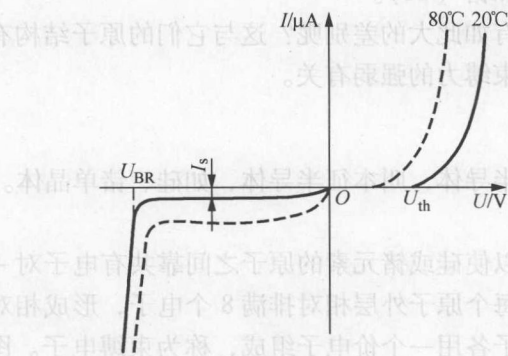


图 1.1.7 温度对二极管伏安特性影响

1.1.3 二极管的主要参数

二极管的参数是反映其性能、质量的数据。使用时根据需要通过晶体管手册选取。主要参数:

1. 最大整流电流 I_{FM}

指二极管长期连续工作时,允许通过的最大正向工作电流的平均值。若实际工作的正向电流平均值超过此值,二极管的 PN 结会过热而损坏。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

指二极管允许承受的反向工作电压峰值。通常采用二极管反向击穿电压的 $1/2$ 或 $1/3$ 。

3. 反向饱和电流 I_{s} (最大反向电流)

在规定的反向电压和环境温度下,管子没有击穿时测得的二极管反向电流值。这个电流值越小,二极管的单向导电性能越好。

知识拓展

半导体基础知识介绍

半导体器件是近代电子学的重要组成部分,它是构成电子电路的基本元件,半导体器件是由经过特殊加工且性能可控的半导体材料制成的。

在电子技术中,把自由运动的带电粒子称为载流子。

自然界中存在着各种各样的物质。早期,人们按物质导电能力的强弱将它们分成导体和绝缘体两大类。

所谓导体就是可以导电的物体。如铜、铝、银等金属都是导体。导体的载流子是自由

电子。导体导电能力的大小，主要取决于自由电子数目的多少。自由电子数目多的导体，导电能力就强；自由电子数目少的导体，导电能力就弱。

所谓的绝缘体就是几乎不能导电的物体。最外层电子受原子核的束缚力很强，很难成为自由电子，所以物体中自由电子的数目非常少，导电能力极差，成为绝缘体。

随着科学技术的进步，人们发现自然界中还有一种物质，它的导电能力介于导体和绝缘体之间，这就是半导体，如锗、硅、砷化镓和一些硫化物、氧化物等。目前制作半导体器件的主要材料是硅（Si）和锗（Ge）。

为什么物质的导电能力有如此大的差别呢？这与它们的原子结构有关，即与它们的原子最外层的电子受其原子核束缚力的强弱有关。

一、本征半导体

纯净且呈现晶体结构的半导体，叫本征半导体，如硅、锗单晶体。

1. 本征半导体结构

通过特殊工艺加工，可以使硅或锗元素的原子之间靠共有电子对 - 共价键，形成非常规则的晶体点阵结构。结果每个原子外层相对排满 8 个电子，形成相对稳定的状态。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。图 1.1.8 所示为硅和锗的原子结构和共价键结构。

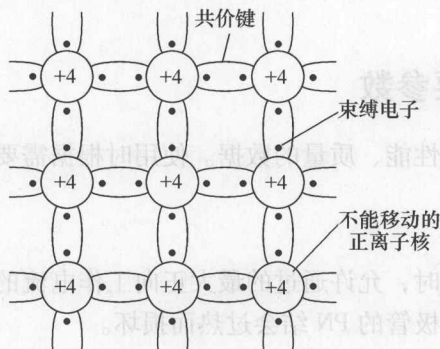


图 1.1.8 硅和锗的原子结构和共价键结构

2. 本征激发

在常温下，由于热运动的激发，使本征半导体共价键中的价电子获得足够的能量而脱离共价键的束缚，成为自由电子。同时，在共价键中留下一个空位，叫空穴。这种产生自由电子和空穴对的现象，叫本征激发。本征半导体中，自由电子和空穴成对出现，数目相同。

由于本征激发而在本征半导体中存在一定浓度的自由电子（带负电荷）和空穴（带正电荷）对，故其具有导电能力，但其导电能力有限。图 1.1.9 所示为本征激发所产生的电子空穴对。

因为本征半导体内部参与导电的物质有自由电子和空穴，所以本征半导体中有两种载流子，一种是带负电的自由电子，另一种是带正电的空穴。

本征半导体导电能力的大小与本征激发的激烈程度有关，温度越高，由本征激发所产

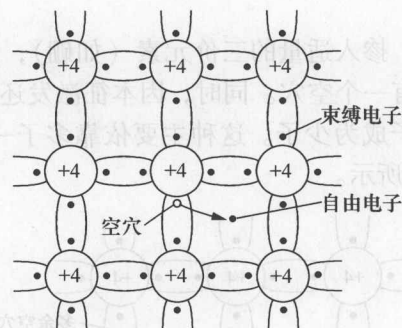


图 1.1.9 本征激发产生电子空穴对

生的电子-空穴对越多,本征半导体内部载流子的数目也越多,本征半导体的导电能力就越强,这就是半导体导电能力受温度影响的直接原因。由于本征激发现象比较弱,本征半导体的导电能力也很弱。

二、杂质半导体

为了提高半导体的导电能力,在本征半导体中掺入微量的杂质,可以使杂质半导体的导电能力得到改善,且导电能力受所掺杂质的类型和浓度控制,但并未改变其晶体结构,形成杂质半导体。由于掺入半导体中的杂质不同,杂质半导体可分为 N 型和 P 型半导体两大类。

1. N 型半导体

在硅或锗本征半导体中掺入适量的五价元素(如磷),则磷原子与其周围相邻的四个硅或锗原子之间形成共价键后,还多出一个电子,这个多出的电子极易成为自由电子参与导电。同时,因本征激发还产生自由电子和空穴对。结果,自由电子成为多数载流子(称多子),空穴成为少数载流子(称少子)。这种主要依靠多数载流子——自由电子导电的杂质半导体,叫 N 型半导体,如图 1.1.10 所示。

五价元素的原子团因失去电子而成为正离子,但它不产生空穴,不能像空穴那样能被电子填充而移动,从而参与导电,所以它不是载流子。

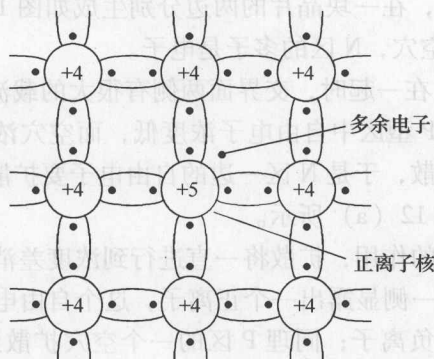


图 1.1.10 N 型半导体的共价键结构

2. P 型半导体

在硅或锗本征半导体中，掺入适量的三价元素（如硼），则硼原子与周围的四个硅或锗原子形成共价键后，还留有一个空穴。同时，因本征激发还产生自由电子和空穴对。结果，空穴成为多子，自由电子成为少子。这种主要依靠多子——空穴导电的杂质半导体，叫 P 型半导体，如图 1.1.11 所示。

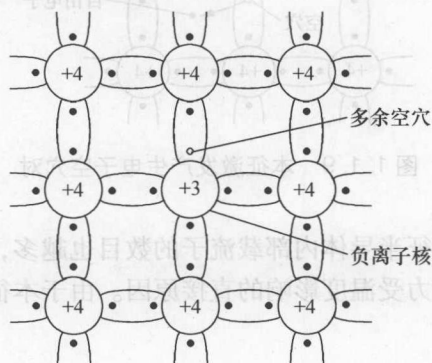


图 1.1.11 P 型半导体共价键结构

三价元素的三个价电子与周围四个原子组成共价键时，因缺少一个电子而产生了空穴，室温下此空穴极容易被邻近共价键中的价电子所填补，如图 1.1.11 所示。

杂质半导体中多子的浓度取决于掺入杂质的多少，少子的浓度与温度有密切关系。

无外电场作用时，本征半导体和杂质半导体对外均呈现电中性，其内部无电流。

三、PN 结及其单向导电性

杂质半导体增强了半导体的导电能力，利用特殊的掺杂工艺，可以在一块本征半导体晶片的两边分别生成 N 型和 P 型半导体，在两者的交界处将形成 PN 结。PN 结具有单一型的半导体所没有的特性，利用该特性可以制造出各种半导体器件。下面来介绍 PN 结的特性。

1. PN 结的形成

现利用特殊的掺杂工艺，在一块晶片的两边分别生成如图 1.1.12 (a) 所示的 N 型和 P 型半导体。P 区的多子是空穴，N 区的多子是电子。

当两种半导体“结合”在一起时，交界面两侧有很大的载流子浓度差：N 型区中自由电子浓度高，空穴浓度低；P 型区中自由电子浓度低，而空穴浓度高。自由电子和空穴都要从浓度高处向浓度低处扩散，于是 N 区一边的自由电子要扩散到 P 区去，P 区中的空穴要扩散到 N 区去，如图 1.1.12 (a) 所示。

如果没有电场对载流子的作用，扩散将一直进行到浓度差消失为止。但 N 区的一个自由电子扩散到 P 区后，N 区一侧显露出一个正离子，这个自由电子扩散到 P 区后与空穴复合，在 P 区一侧显露出一个负离子；同理 P 区的一个空穴扩散到 N 区后，与 N 区的自由电子复合，在 P 区一侧显露出一个负离子，在 N 区一侧显露出一个正离子。于是，在交界面 N 区一侧由正离子形成正的空间电荷区，P 区一侧由负离子形成负的空间电荷区。空间电荷区形成之后，在空间电荷区中便产生了电场，这个电场称为内建电场，其方向是由 N

区指向 P 区, 如图 1.1.12 (b) 所示。

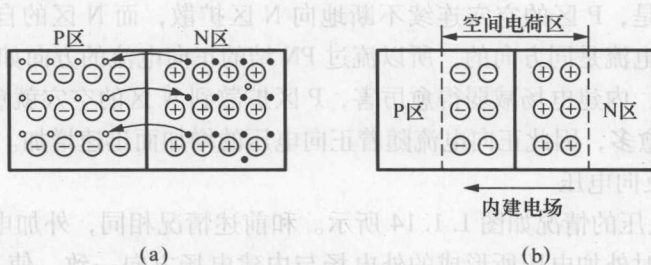


图 1.1.12 PN 结的形成

在内建电场的作用下, 少数载流子产生漂移运动, 漂移运动的方向与扩散运动的方向相反, 即 P 区的少子自由电子进入空间电荷区向 N 区漂移, N 区的少子空穴进入空间电荷区向 P 区漂移。开始, 内建电场较弱, 载流子的扩散运动占优势。随着扩散的进行, 空间电荷区变宽, 内建电场增强, 从而使载流子的漂移运动加强。当载流子的漂移运动增强到与扩散运动相当时, 交界面处的正负离子数不再增加, 空间电荷区宽度不再变化, 达到动态平衡状态, 形成 PN 结。

因 PN 结内缺少载流子, 所以其电阻率高, 是高阻区; 又因 PN 结内载流子被“耗尽”, 因此, PN 结又称为耗尽层; 由于结内电场的存在, 阻碍载流子的扩散, 所以 PN 结又称为阻挡层。

2. PN 结的单向导电性

处于平衡状态下的 PN 结没有实用的价值, PN 结的实用价值只有在 PN 结上外施电压时才能显示出来。

如果在 PN 结两端加上不同极性的电压, PN 结便会呈现出不同的导电性能。

当 PN 结未加电压时, PN 结处于平衡状态, 阻挡层内的电场力等于扩散力, 通过 PN 结的多子扩散电流与少子漂移电流相等。宏观上看, 两者相互抵消, 通过 PN 结的电流等于零。

(1) PN 结加正向电压

当 P 区接高电位、N 区接低电位时, 由于 PN 结是高阻区, 所以, 外加电压大部分都落在阻挡层上。由图 1.1.13 可见外电场的方向和内建电场的方向相反, 起了抵消部分内建电场的作用, 使空间电荷区变窄, 内建电场减弱。内建电场的减弱对载流子的运动有什么

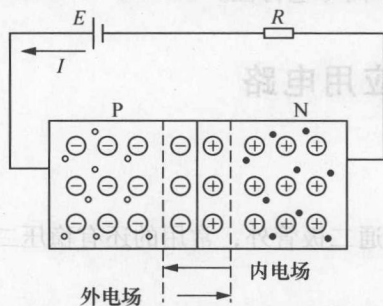


图 1.1.13 PN 结外加正向电压