



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

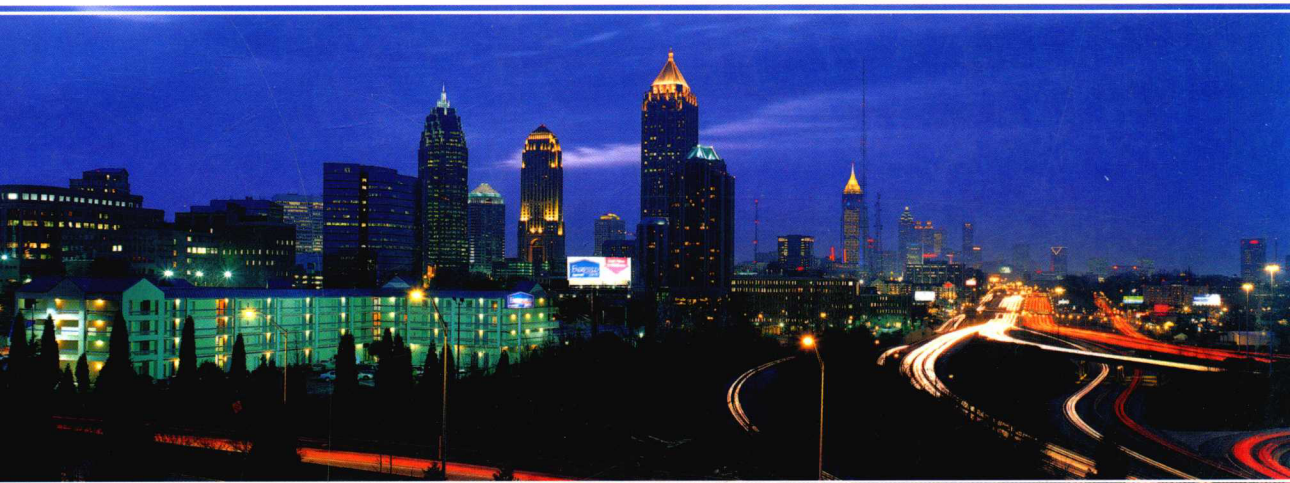
高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电子技术

(第2版)

黄军辉 张文梅 傅沈文 主编 李靖 徐献灵 李丽 副主编



Electronic Technology

(2nd Edition)

精简教学内容 降低理论难度

引入项目教学 激发学习兴趣

突出教学重点 增强可操作性



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu

hua Jiaocai

TN
108-2

893/895

电子技术

(第2版)

黄军辉 张文梅 傅沈文 主编 李靖 徐献灵 李丽 副主编



Electronic Technology
(2nd Edition)

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电子技术 / 黄军辉, 张文梅, 傅沈文主编. -- 2版

— 北京: 人民邮电出版社, 2012.1

高等职业教育电子技术技能培养规划教材 工业和信
息化高职高专“十二五”规划教材立项项目

ISBN 978-7-115-26023-9

I. ①电… II. ①黄… ②张… ③傅… III. ①电子技
术—高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第153647号

内 容 提 要

本书采取项目式的教学方法,系统地介绍电子技术的基本概念、基本理论、基本方法及在实际中的应用。

本书主要内容包括半导体器件的认识、基本测量仪表的使用、直流稳压电源的制作、分立元件放大电路的设计、集成运算放大电路的应用、振荡电路的设计与测量、模拟电子技术项目综合设计、组合逻辑电路的设计、时序逻辑电路的设计、数字电子技术项目综合设计。

本书可作为高职高专院校计算机、电子、信息、自动控制、机械等专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

电子技术(第2版)

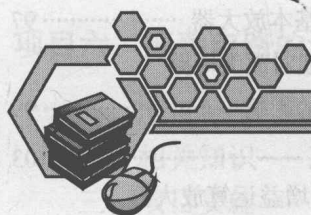
-
- ◆ 主 编 黄军辉 张文梅 傅沈文
 - 副 主 编 李 靖 徐献灵 李 丽
 - 责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
 - 邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 14.75 2012年1月第2版
 - 字数: 377千字 2012年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-26023-9

定价: 29.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



目 录

项目一 半导体器件的认识..... 1

一、项目分析.....	1
二、相关知识.....	1
(一) 半导体的基本知识.....	1
(二) 二极管.....	5
(三) 三极管.....	9
三、项目实施.....	12
任务一、二极管的测量.....	12
(一) 实施要求.....	12
(二) 实施步骤.....	13
任务二、晶体管的简易测试.....	14
(一) 实施要求.....	14
(二) 实施步骤.....	14
四、拓展知识.....	16
(一) 特殊用途的二极管.....	17
(二) 场效应管.....	18
小结.....	20
习题及思考题.....	21

项目二 基本测量仪表的使用..... 24

一、项目分析.....	24
二、相关知识.....	25
(一) 示波器的基本结构.....	25
三、项目实施.....	26
任务一、EM 系列函数 发生器的使用.....	26
(一) 实施要求.....	26
(二) 实施步骤.....	26
任务二、交流电压毫伏表及低频 信号发生器的使用.....	28
(一) 交流电压毫伏表的使用.....	28
(二) 低频信号发生器的使用.....	29

任务三、示波器的正确使用.....	29
(一) 示波器的分类及基本组成.....	29
(二) 固伟 652G 双踪通用示波器 面板上的主要开关和旋钮.....	30
(三) 示波器的使用.....	30
四、拓展知识.....	31
(一) 示波器测量相位差的方法 (李莎育图形测量法简介).....	31
(二) 虚拟仪器技术.....	31
小结.....	32
习题及思考题.....	33

项目三 直流稳压电源的制作..... 34

一、项目分析.....	34
二、相关知识.....	34
(一) 单相桥式整流电路.....	35
(二) 滤波电路.....	37
(三) 稳压电路.....	39
三、项目实施.....	45
任务一、可调式稳压电源 电路的原理分析.....	45
(一) 实施要求.....	45
(二) 实施步骤.....	45
任务二、电路板设计、制作和 元件检测.....	47
(一) 实施要求.....	47
(二) 实施步骤.....	47
任务三、电路装配与调试.....	49
(一) 实施要求.....	49
(二) 实施步骤.....	49
四、拓展知识.....	51
(一) 三相整流电路.....	51
(二) 复式滤波电路.....	53



小结	54	两种基本放大器	97
习题及思考题	54	(六)负反馈对放大电路性能的影响	99
项目四 分立元件放大电路的设计	57	三、项目实施	103
一、项目分析	57	任务一、中增益运算放大器	
二、相关知识	57	LM358 的测试	103
(一)共发射极放大电路	57	(一)运算放大器 LM358 的测试要求	103
(二)静态工作点稳定的放大电路——分压式偏置电路	66	(二)LM358 的测试实施步骤	103
(三)共集放大电路和共基放大电路	69	任务二、用集成运算放大器实现信号的加法运算——加法器的制作	104
(四)差动放大电路	73	(一)加法器的制作要求	104
三、项目实施	78	(二)实施步骤	104
任务一、使用 Multisim 测试共发射极放大电路	78	任务三、用集成运算放大器实现信号的减法运算——减法运算器的制作	104
(一)实施要求	78	(一)减法器的制作要求	104
(二)实施步骤	79	(二)实施步骤	105
任务二、单级交流放大器的测量	82	任务四、用集成运算放大器实现信号的积分运算——积分运算器的应用	105
(一)实施要求	82	(一)积分运算器的制作要求	105
(二)实施步骤	82	(二)实施步骤	105
任务三、使用 Multisim 测试差动放大电路	83	任务五、集成运算放大器的非线性应用——零电压比较器的应用	106
(一)实施要求	83	(一)零电压比较器的制作要求	106
(二)实施步骤	84	(二)实施步骤	107
四、拓展知识	86	任务六、音频放大电路中间级的制作	108
(一)多级放大电路	86	(一)音频放大电路中间级的制作要求	108
小结	88	(二)实施步骤	109
习题及思考题	89	四、拓展知识	109
项目五 集成运算放大电路的应用	90	(一)滞回比较器的工作原理	109
一、项目分析	90	(二)滞回比较器的应用分析	110
二、相关知识	91	小结	110
(一)集成运算放大器的认知	91	习题及思考题	111
(二)反馈的认知	94		
(三)集成运算放大器的非线性工作状态及相应结论	95		
(四)集成运算放大器的线性工作状态及相应结论	96		
(五)集成运算放大器构成的			



项目六 振荡电路的设计和测量 114

一、项目分析.....	114
二、相关知识.....	114
三、项目实施.....	120
任务一、正弦波信号	
发生器的仿真.....	120
(一) 实施要求.....	120
(二) 实施步骤.....	120
任务二、正弦波振荡电路的	
实际测量.....	122
(一) 实施要求(包括职业证书	
要求、环境要求、设备	
要求等).....	122
(二) 实施步骤(不涉及具体	
硬件设备, 宏观概括性地	
操作).....	122
四、拓展知识.....	123
小结.....	125
习题及思考题.....	126

项目七 模拟电子技术项目

综合设计 128

项目实例名称、双电源单声道

扩音机电路装调.....	128
(一) 实训目的.....	128
(二) 扩音机工作原理.....	128
(三) 实训仪器工具.....	129
(四) 实训步骤.....	129
(五) 故障排除方法.....	130
(六) 用 Proteus 软件仿真.....	131
(七) 实训报告.....	131

项目八 组合逻辑电路的设计 133

一、项目分析.....	133
二、相关知识.....	134
(一) 数字电路概述.....	134
(二) 数制与编码.....	135
(三) 逻辑代数.....	138

(四) 逻辑门电路.....	142
----------------	-----

(五) 组合逻辑电路的	
分析与设计.....	144

三、项目实施 153

任务一、逻辑门电路测试.....	153
(一) 实施要求.....	153
(二) 实施步骤.....	154
任务二、组合逻辑电路测试.....	155
(一) 实施要求.....	155
(二) 实施步骤.....	155
任务三、加法器测试及应用.....	157
(一) 实施要求.....	157
(二) 实施步骤.....	157
任务四、译码器测试及应用.....	159
(一) 实施要求.....	159
(二) 实施步骤.....	159

任务五、用 Proteus 仿真测试

译码器的逻辑功能..... 160

(一) 实施要求.....	160
(二) 实施步骤.....	160

任务六、用 2 片 74LS138 构成

一个 4 位二进制译码器..... 162

(一) 实施要求.....	162
(二) 实施步骤.....	162

任务七、用编码器、译码驱动器

和共阴显示器构成九路

输入的优先编码电路..... 163

(一) 实施要求.....	163
(二) 实施步骤.....	163

四、拓展知识 165

(一) 组合逻辑电路中竞争	
冒险的分析.....	165

(二) 数字电路的故障	
检测与诊断.....	166

小结..... 168

习题及思考题..... 168

项目九 时序逻辑电路的设计 171

一、项目分析.....	171
-------------	-----



二、相关知识	172
(一) 触发器	172
(二) 寄存器和移位寄存器	179
(三) 计数器	183
(四) 555 定时器及其应用	188
(五) 同步时序逻辑电路的 分析与设计	191
三、项目实施	195
任务一、触发器测试	195
(一) 实施要求	195
(二) 实施步骤	195
任务二、移位寄存器型 计数器测试	197
(一) 实施要求	197
(二) 实施步骤	197
任务三、集成计数器测试	198
(一) 实施要求	198
(二) 实施步骤	198
任务四、集成寄存器、集成计数器 测试及应用	199
(一) 实施要求	199
(二) 实施步骤	200
任务五、用 Proteus 仿真设计一个 2 位十进制计数 译码电路	200
(一) 实施要求	200
(二) 实施步骤	200
任务六、用 Proteus 仿真设计一个 555 时基电路质量判定及	

声光报警电路	201
(一) 实施要求	201
(二) 实施步骤	201
四、拓展知识	202
(一) 74LS290 芯片介绍	202
(二) 74LS194 芯片介绍	202
(三) 74LS160/161 芯片介绍	203
(四) 74LS192 芯片介绍	203
小结	204
习题及思考题	205

项目十 数字电子技术	
项目综合设计	208
(一) 实训目的	208
(二) 电路原理图	208
(三) 用 Proteus 软件仿真	208
(四) 实物制作	210

附录一 半导体器件型号 命名方法	213
---------------------	-----

附录二 常用半导体器件的参数	215
----------------	-----

附录三 KP 型晶闸管元件 额定参数	221
-----------------------	-----

附录四 Proteus 软件操作说明	223
--------------------	-----

参考文献	228
------	-----

项目一

半导体器件的认识

一、项目分析

项目实例内容

本项目先讨论了半导体的导电特性和 PN 结的基本原理,接着讨论了二极管、稳压管、三极管、场效应管和晶闸管的结构、工作原理、特性曲线及主要参数。

项目分析

用半导体制成的电子器件,统称为半导体器件。半导体器件具有耗电少、寿命长、重量轻、体积小、工作可靠、价格低廉等一系列的优点,因此在电子技术的各个领域得到了广泛应用。

知识点

1. 半导体的导电特性和 PN 结的基本原理;
2. 二极管的结构、伏安特性;
3. 三极管的结构、电流分配原理、工作状态和条件。

能力点

1. 会识别二极管、能测绘其伏安特性;
2. 会识别三极管、能分析其电流分配情况;
3. 能测绘三极管的传输特性曲线;
4. 能熟练应用特殊二极管、绝缘栅型场效应管。

二、相关知识

(一) 半导体的基本知识

半导体器件是电子电路的核心部分。近代电子学已经由独立的半导体器件发展到了



集成电路,特别是大规模和超大规模集成电路的出现,使科学技术步入了电子、微电子时代。

1. 半导体

自然界的物质按其导电能力可分为导体、绝缘体和半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体,如硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。

2. 半导体的物理特性

(1) 半导体独特的物理特性

① 热敏特性:半导体的电阻率随着温度变化而显著变化。如纯锗当温度从 20°C 升高到 30°C 时,其电阻率约降低一半。利用这一特性制成的热敏元件,常用于检测温度的变化。这种特性造成了半导体器件的温度稳定性差。

② 光敏特性:某些半导体材料受到光照时,电阻率迅速下降,导电能力显著增强。例如,常用的硫化镉(CdS)材料,在有光照和无光照的条件下,其电阻率有几十到几百倍的差别。利用这种特性可制成各种光敏元件,如光敏电阻、光电管等。

③ 掺杂特性:在纯净的半导体材料中掺入某种微量的杂质元素后,其导电能力将猛增几万倍甚至几百万倍。例如,在纯硅中掺入百万分之一的硼,即可使其电阻率从 $0.214 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 下降到 $0.4 \cdot \text{m}$ 。这是半导体最突出的特性。

正因为半导体有这些独特的物理特性,它才成为制造电子元器件的重要材料。热敏电阻、光敏电阻、二极管、三极管、场效应管、晶闸管等都是常见的半导体器件。现在,制造半导体器件的主要材料是锗和硅。

(2) 半导体的晶体结构

纯净的、具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。

最常用的本征半导体是锗和硅晶体。它们都是四价元素,原子最外层轨道上有4个价电子。由于晶体中相邻原子的距离很近,原子的1个价电子与相邻原子的1个价电子容易组合成一个电子对,这对价电子是相邻原子所共有的,这种组合称为共价键结构。因此,在晶体中,1个原子的4个价电子就会分别与其周围的4个原子组成共价键,如图1-1所示。

在热力学零度(-273.16°C)且没有其他外部能量作用时,价电子被共价键紧紧束缚着,使得半导体中没有可以自由移动的带电粒子。此时,晶体中没有载流子,导电能力如同绝缘体。

当半导体温度上升或给半导体施加能量(如光照)时,一些价电子获得足够的能量而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,此过程称为本征激发。自由电子是一种可以参与导电的带电粒子,即载流子。

价电子脱离共价键束缚成为自由电子的同时,在相应共价键中留下一个空位置,称为空穴。邻近原子上的价电子容易填补这个空穴,这样就在邻近原子处留下一个新的空穴,如图1-2所示。空穴的运动相当于正电荷的运动。

在外加电场的作用下,带负电的自由电子逆着电场方向作定向运动,形成电子电流;带正电的空穴则顺着电场方向作定向运动,产生空穴电流(实际上是价电子按反方向依次填补空穴的运动所产生的)。由于所带的电荷不同,虽然它们运动方向相反,产生的电流方向却是相同的。因此,总电流是自由电子电流和空穴电流之和。可见,半导体有自由电子和空穴两种载流子参与导电,这是半导体导电方式的最大特点,也是半导体和金属在导电原理上的本质差别。

载流子的数量决定了半导体的导电能力。载流子浓度越高,半导体的导电能力就越强。载流子的数量与温度,光照程度和掺入杂质浓度等因素有关,因此半导体的导电能力也与温度、光照、



掺入杂质浓度等因素有关。

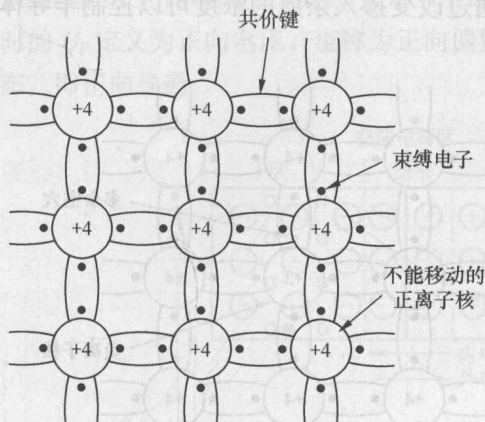


图 1-1 硅或锗晶体共价键结构示意图

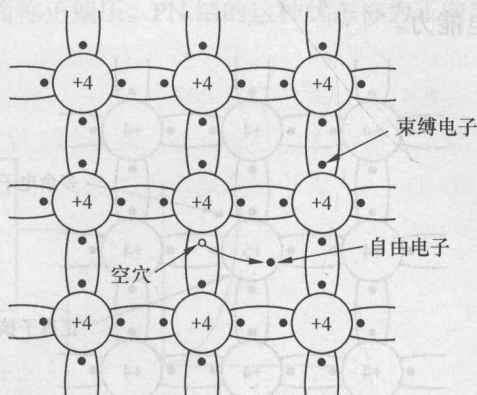


图 1-2 电子和空穴的形成

在本征半导体中，受激后的自由电子和空穴总是成对产生的。同时，自由电子在运动过程中与空穴相遇，自由电子会填补空穴，两者同时消失，称为复合。在一定温度下，载流子的产生与复合达到动态平衡，使得载流子维持在一定的数目上。当温度升高或受到光照时，更多的价电子被激发而挣脱共价键的束缚，产生的自由电子-空穴对的数量将增多，复合也会增多。最终，激发和复合在此温度下再次达到平衡，载流子数量增多。

在常温下，本征半导体的导电能力极差。

3. 半导体的导电原理

(1) N 型半导体

在纯净的半导体中掺入微量的五价元素，如砷 (As) 或磷，可使半导体中自由电子的浓度大大增加，形成 N 型半导体或称为电子半导体，带负电。如图 1-3 所示，在纯净半导体中掺入五价的磷元素，磷原子有 5 个价电子，其中 4 个价电子与相邻的硅原子形成共价键，多余的 1 个价电子很容易挣脱磷原子的束缚而成为自由电子，磷原子失去 1 个价电子成为不能移动的正离子。磷原子的数量虽然很少，而由此产生的自由电子数量远远大于本征激发产生的空穴数量。N 型半导体中，自由电子的浓度大于空穴的浓度，自由电子为多数载流子，简称多子；本征激发产生的少量空穴为少数载流子，简称少子。如此掺杂以后，N 型半导体中的自由电子浓度远大于本征半导体中的电子浓度。可见，掺杂可以大大提高半导体的导电能力。

(2) P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素，如硼 (Be) 或铟 (In)，可使半导体中空穴 (带正电的粒子) 浓度大大增加，形成 P 型半导体或称为空穴半导体，带正电。如图 1-4 所示，在纯净半导体中掺入三价的硼元素，硼原子有 3 个价电子，在与相邻的硅原子形成共价键时，将因缺少 1 个价电子而形成 1 个空穴，这个空穴容易吸引邻近共价键上的价电子来填补，使得硼原子得到 1 个价电子成为不能移动的负离子。硼原子的数量很少，而由此产生的空穴数量却远远大于本征激发所产生的自由电子数量。在 P 型半导体中，空穴是多子，自由电子是少子。P 型半导体中，空穴浓度远远大于自由电子浓度。

综上所述，多子是由掺杂产生的，多子数目取决于掺杂浓度，杂质半导体主要靠多子导电。少子是本征激发产生的，因此少子数目对温度非常敏感，所以在高温下，半导体器件中少数数



目增多，器件的稳定性因此将受到影响。掺入少量的杂质可以使晶体中的自由电子或空穴的数目激增，大大提高半导体的导电能力。也就是说，通过改变掺入杂质的浓度可以控制半导体的导电能力。

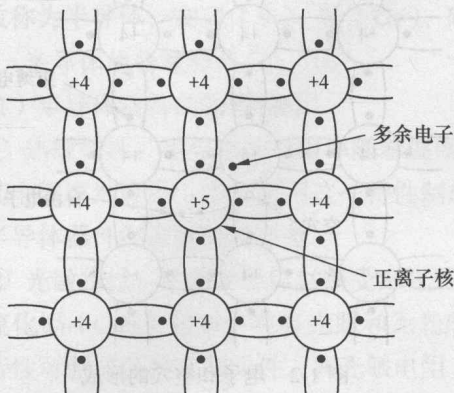


图 1-3 N 型半导体结构示意图

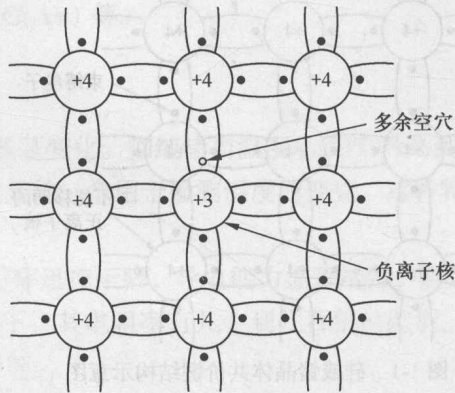


图 1-4 P 型半导体结构示意图

（3）半导体 PN 结

① PN 结的形成。利用掺杂工艺，可以在一块本征硅片的不同区域分别形成 P 型半导体和 N 型半导体，二者的交界面处就形成了 PN 结，如图 1-5 所示。

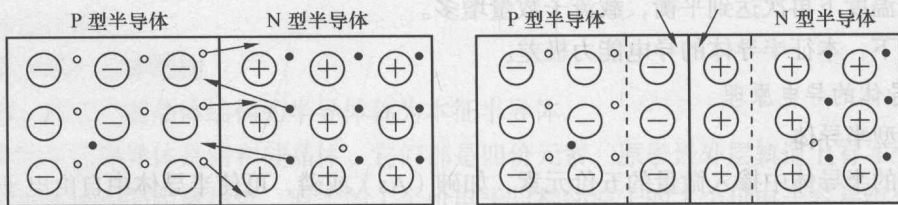


图 1-5 PN 结的形成

P 型半导体中，空穴很多而自由电子很少，N 型半导体中，自由电子很多而空穴很少，形成 PN 结时，P 区的多子（空穴）扩散到 N 区，并与 N 区交界面处的自由电子复合；N 区多子（自由电子）扩散到 P 区，并与 P 区交界面处的空穴复合，如图 1-5（a）所示。这样，在 P 区一侧留下不能移动的负离子，在 N 区一侧留下不能移动的正离子。PN 交界面处形成了一边带负电荷，一边带正电荷的空间电荷区，同时产生了方向由正电荷区指向负电荷区（即由 N 区指向 P 区）的电场，称为内电场，如图 1-5（b）所示。在内电场的作用下，P 区的少子（电子）向 N 区漂移，N 区的少子（空穴）向 P 区漂移。内电场的出现对两区多子的扩散运动起阻碍作用，却推动了两区少子的漂移运动，使得两区少子越过空间电荷区进入对方区内。很显然，多子的扩散运动方向和少子的漂移运动方向是相反的。

PN 结形成之初，多子的扩散运动占绝对优势。随着扩散的进行，空间电荷区将逐渐变宽，内电场逐渐增强；多子的扩散运动将逐渐减弱，少子的漂移运动却逐渐增强。最终实现了多子扩散运动和少子漂移运动的动态平衡，空间电荷区不再扩展，保持一定的宽度。此时，多子的扩散载流子数目和漂移载流子数目相等，所以流过 PN 结的净电流为零。这个空间电荷区就称为 PN 结。

PN 结的宽度一般为几微米到几十微米。PN 结的内电场的电位差约为零点几伏。

② PN 结的特性。在没有外电场的作用下，PN 结是不会导电的；在外电场的作用下，PN 结显示单向导电特性。



如图 1-6 (a) 所示, 给 PN 结外加直流电压 U_F , 即 P 型半导体接正极, N 型半导体接负极, 且仅当 U_F 大于 PN 结的内电场时, PN 结处于导通状态, 可得如图 1-6 (b) 所示的正向特性曲线。此时的 U_F 定义为正向电压, 也称为正向偏置电压, 简称正偏压。PN 结的这种状态称为正向导通状态, 即正向导通。

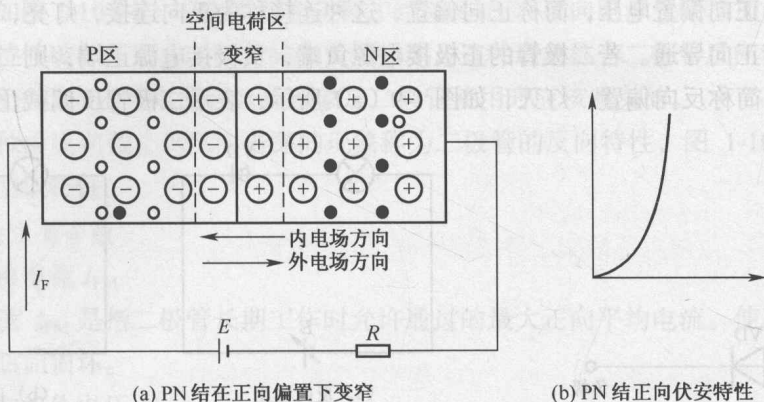


图 1-6 PN 结外加正向电压

如图 1-7 所示, 给 PN 结外加直流电压 U_R , 即 P 型半导体接负极, N 型半导体接正极。在外加电场作用下, PN 结电子势垒数量增加, 电阻增大, PN 结处于截止状态, 此时的 U_R 定义为反向电压, 也称为反偏置电压, 简称反向偏压, 这即人们常说的反向截止。

必须指出, 当 PN 结的反向电压过大时, 反向电流急剧增大, PN 结发生反向击穿现象, 单向导电性被破坏。PN 结内的正负离子层, 相当于存储的正负电荷, 与极板电容器带电的作用相似, 因此 PN 结具有电容效应, 这种电容称为结电容或极间电容。

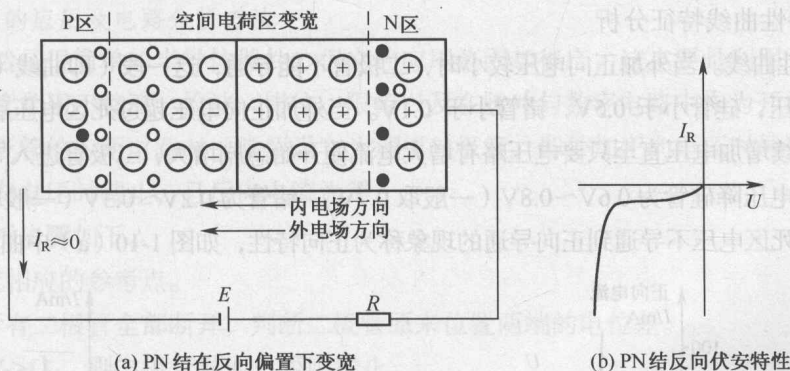


图 1-7 PN 结外加反向电压

综上所述, PN 结正向偏置时, PN 结导通, 正向电阻很小, 正向电流 I_F 较大; PN 结反向偏置时, PN 结截止, 反向电阻很大, 反向电流 I_R 很小。半导体 PN 结的这种正向导通和反向截止的特性定义为单向导电特性, 这是 PN 结的一种非常重要的特性, 是构成半导体器件的基本理论基础和关键依据, 也是半导体器件在电子技术中得到广泛应用的重要原因。

(二) 二极管

1. 二极管的结构和符号

二极管是由一个 PN 结加上电极引线封装构成的。PN 结两端引出两个电极, P 型半导体端为正极, N 型半导体端为负极, 图 1-8 所示为二极管电路符号, VD 是二极管文字符号。二极管按材



料分为 Si 管和 Ge 管;按结构分有点接触型、面接触型和平面型;按用途分有普通二极管、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、光敏二极管、变容二极管等。

2. 二极管的单向导电性

图 1-9 所示为二极管单向导电实验图。若二极管的正极接电源正端,负极接电源负端,则二极管所加电压为正向偏置电压,简称正向偏置,这种连接称为正向连接,灯亮,如图 1-9 (b) 所示,表示二极管正向导通。若二极管的正极接电源负端,负极接电源正端,则二极管所加电压为反向偏置电压,简称反向偏置,灯灭,如图 1-9 (a) 所示,表示二极管反偏截止。

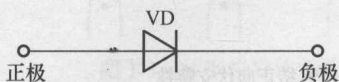


图 1-8 常见二极管符号

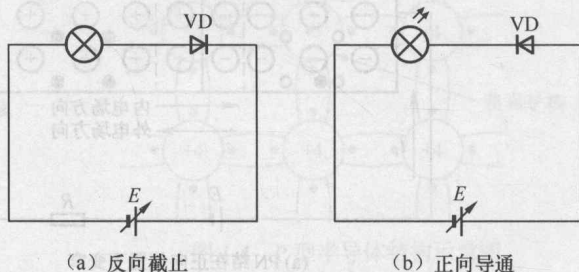


图 1-9 二极管的单向导电性

结论:二极管的这种正向导通、反偏截止特性称为二极管的单向导电性。二极管在电子技术中的应用是基于这样一种特性;对二极管的电路分析,也同样根据这样的单向导电性来进行。

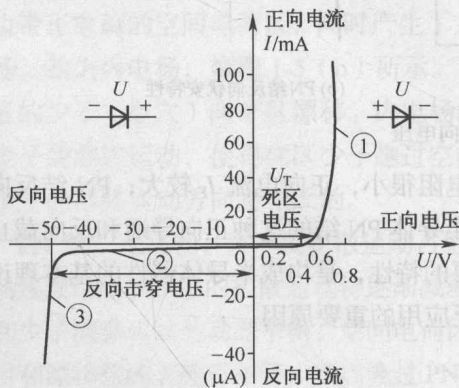
3. 二极管的伏安特性曲线

(1) 伏安特性曲线

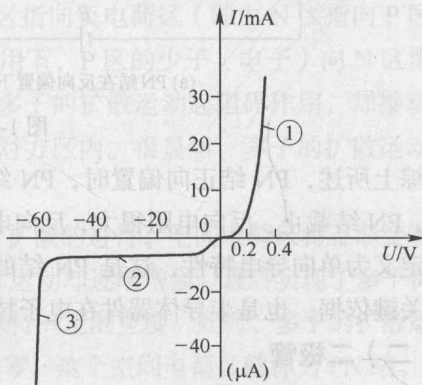
由二极管的单向导电实验图及 PN 结特性可知,二极管的伏安特性曲线是描述二极管两端所加电压与流过管子电流的关系曲线,图 1-10 所示为二极管的伏安特性。

(2) 伏安特性曲线特征分析

① 正向特性曲线。当外加正向电压较小时,二极管不能导通,这一段(即曲线 0A 段)区域所加电压为死区电压,硅管小于 0.5V,锗管小于 0.1V。当外加正向电压超过死区电压后,二极管中电流开始增大,继续增加电压直至只要电压略有增大电流便开始急剧增大,二极管进入导通状态。导通时二极管的正向电压降硅管为 0.6V~0.8V (一般取 0.7V),锗管为 0.2V~0.3V (一般取 0.3V)。二极管的这种由正向死区电压不导通到正向导通的现象称为正向特性,如图 1-10 (a) 中曲线①所示。



(a) 硅二极管的伏安特性



(b) 锗二极管的伏安特性

图 1-10 二极管的伏安特性



② 反向特性曲线。在二极管两端加额定反向电压时,二极管并不是理想截止状态(如图 1-10 (a) 中曲线②所示),仍然会有微小电流通过二极管,其通过电流大小基本不随电压大小改变,呈现固定值,这称为二极管的反向截止漏电流,简称反向电流,记作 I_s ,一般硅管为几十微安,锗管为几百微安。这时加在二极管两端的反向电压 U_R 称为最高反向工作电压 U_{RM} 。当反向电压增大到一定值时(如图 1-10 (a) 中曲线②和曲线③的交接处),反向电流急剧增加,呈直线上升,二极管单向导通特性破坏即造成二极管的永久性损坏,这种现象称为二极管反向击穿,此时的电压值 U_R 为二极管的反向击穿电压。这种现象是二极管使用时应该避免的。

二极管的这种由反向截止到反向击穿的现象称为二极管的反向特性,图 1-10 (a) 中曲线②和曲线③可以说明该特性。

4. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM}

最大整流电流 I_{FM} 是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流。使用中电流超过此值,管子会因过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

二极管长期运行时所能承受的最大反向工作电压。为保证二极管能安全工作,一般取 U_R 为 U_{RM} 的二分之一。

(3) 反向击穿电压

反向击穿电压是指二极管能承受的最大反向工作电压,外加电压超过该值,PN 结会损坏。

(4) 最高工作频率 f_M

最高工作频率 f_M 是保证二极管正常工作时所加信号的最高频率,否则会使二极管失去单向导电特性。

5. 二极管的应用及电路分析方法

二极管虽然是很简单的半导体器件,但它的应用范围却很广,这主要是利用了二极管的单向导电性。二极管常用于整流、检波、钳位、限幅以及在脉冲与数字电路中作为开关元件。

在分析二极管的应用电路时,常假设它为理想二极管,即外加正向电压时导通,且正向压降为零,外加反向电压时截止,且反向电流为零。

具体的分析步骤如下。

① 先确定相应的参考点。

② 假设所有二极管全部断开,判断二极管原来位置两端的电位差。

- 如果 $U_P > U_N$,则二极管导通;否则截止。
- 如果同时有多个二极管符合 $U_P > U_N$ 时,让 $U_P - U_N$ 最大的二极管先导通,再分析其他的二极管是否导通。

③ 确定了二极管的工作状态后,用基尔霍夫定律分析求解电路。

下面以整流电路、限幅电路和钳位电路为例说明二极管常用的应用电路。

① 二极管整流电路。二极管最基本的应用是整流,即把交流电转换成脉动的直流电,图 1-11 (a) 所示为半波整流电路。若忽略二极管的死区电压和反向截止电流,则可把二极管看成理想二极管,即把二极管作为一个开关。当输入电压为正半周时,二极管导通(相当于开关闭合), $u_o = u_i$;当输入电压为负半周时,二极管截止(相当于开关断开), $u_o = 0$ 。其输入、输出波形如图 1-11 (b) 所示。

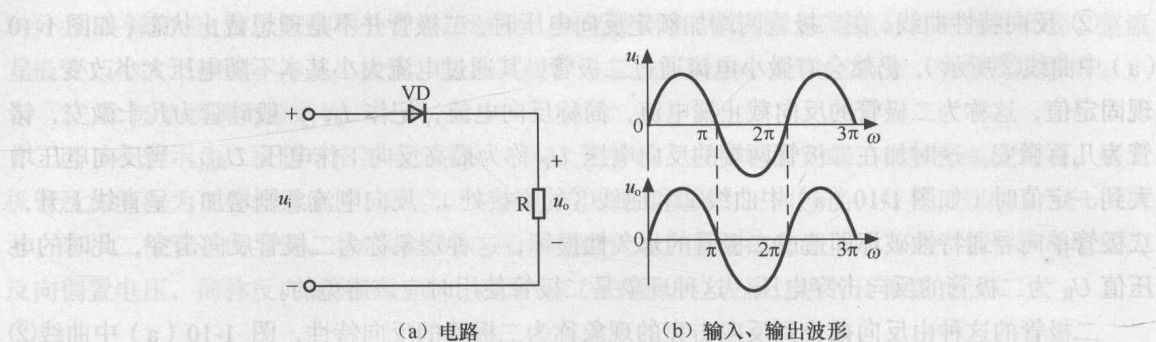


图 1-11 半波整流电路及波形

② 限幅电路。限幅电路的作用是把输出电压的幅度限制在一定的范围内。如图 1-12 所示， $u_i = U_m \sin \omega t$ 。

当 $-E_2 < u_i < E_1$ 时， VD_1 和 VD_2 均承受反压而截止， $u_o = u_i$ ；当 $u_i < -E_2$ 时， VD_2 承受正向电压而导通， $u_o = -E_2$ ；当 $u_i > E_1$ 时， VD_1 承受正向电压而导通， $u_o = E_1$ 。图 1-12 (b) 中实线部分为输入 u_i 的波形，虚线部分为输出 u_o 的波形。

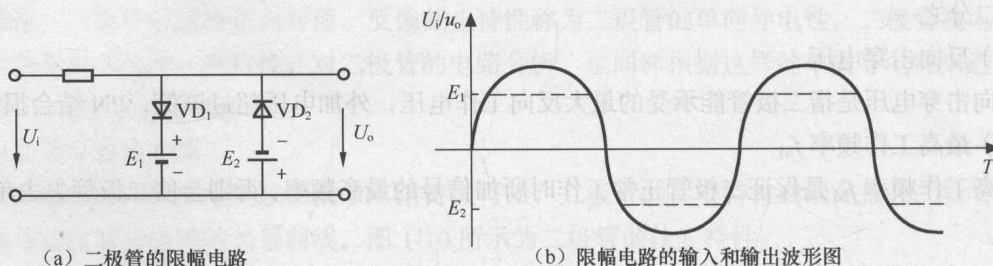


图 1-12 二极管限幅电路分析

这个电路将 u_o 的幅值限制在 $-E_2$ 和 E_1 之间。限幅电路也称为削波电路。

③ 钳位电路。当二极管正向导通时，正向压降很小，可以忽略不计，所以可以强制使其阳极电位与阴极电位基本相等，这种作用称为二极管的钳位作用。当二极管加反向电压时，二极管截止，相当于断路，阳极和阴极被隔离，称为二极管的隔离作用。

如图 1-13 所示，先把两个二极管的两端断开，输入端 A 的电位为 $U_A = +3V$ ，则 $U_{D1} = U_{D1P} - U_{D1N} = U_A - (-12V) = 15V$ ；输入端 B 的电位为 $U_B = 0V$ ，则 $U_{D2} = U_{D2P} - U_{D2N} = U_B - (-12V) = 12V$ 。因为 $U_{D1} > U_{D2}$ ，所以 VD_1 优先导通，则输出 $U_F \approx +3V$ 。当 VD_1 导通后， VD_2 上承受反向电压而截止。在此电路中， VD_1 起钳位作用，把输出端 F 的电位钳制在 $+3V$ ； VD_2 起隔离作用，把输入端 B 和输出端 F 隔离开。

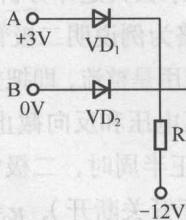


图 1-13 二极管钳位电路



6. 半导体器件型号命名方法

半导体器件的型号由 5 个部分组成，如图 1-14 所示。如 2AP9，“2”表示电极数为 2，“A”表示 N 型锗材料，“P”表示普通管，“9”表示序号（摘自国家标准 GB249—74）。详细内容，参见附录一。

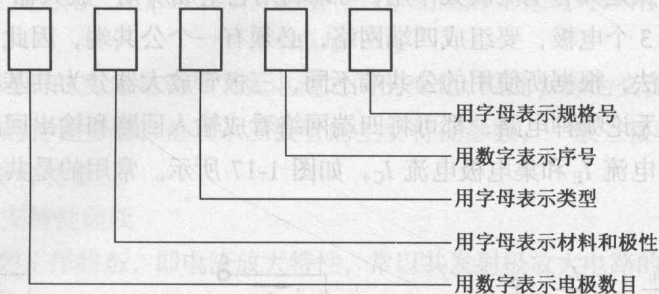


图 1-14 半导体器件的型号组成

(三) 三极管

1. 三极管的基本知识

(1) 三极管的结构和符号

三极管又称晶体管或双极性晶体管，简称 BJT。它是通过一定的工艺将两个 PN 结结合在一起而构成的一种具有电流放大作用的半导体器件，其外形如图 1-15 所示。三极管分为 NPN 型和 PNP 型两种，其结构和电路符号如图 1-16 所示。由图可知，两种类型的三极管都有 3 个区（发射区、基区和集电区），两个 PN 结（发射结和导电结），3 个电极（基极 b、发射极 e 和集电极 c），故称为“三极管”。

NPN 型和 PNP 型三极管电路符号的区别是发射极的箭头方向不同，如图 1-16 所示。按 PN 结的半导体材料可分为锗（Ge）管和硅（Si）管两种；按频率特性可分为高频管和低频管；按功率大小可分为大功率管、中功率管、小功率管等。

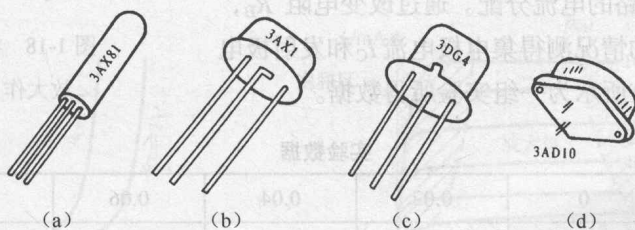


图 1-15 几种 BJT 的外形

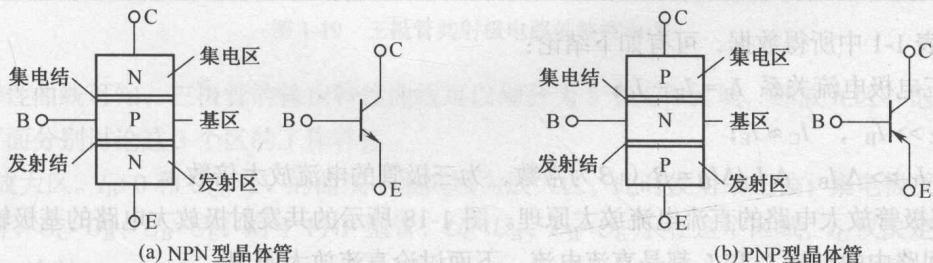


图 1-16 三极管的结构和符号



三极管的特点：基区很薄（一般仅有1微米到几十个微米厚），掺杂浓度最低、发射区掺杂浓度很高、集电区的面积最大。

(2) 三极管的3种连接方式

三极管的主要特点是具有电流放大作用，可以利用它组成所谓“放大器”。放大器是一个四端网络，因三极管只有3个电极，要组成四端网络，必须有一个公共端，因此，根据公共端不同，三极管有3种不同接法，根据所使用的公共端不同，三极管放大器分为共基极电路、共发射极电路和共集电极电路。无论哪种电路，都可将四端网络看成输入回路和输出回路，电路中都会形成基极电流 I_B ，发射极电流 I_E 和集电极电流 I_C ，如图 1-17 所示。常用的是共发射极电路，本节只研究该电路。

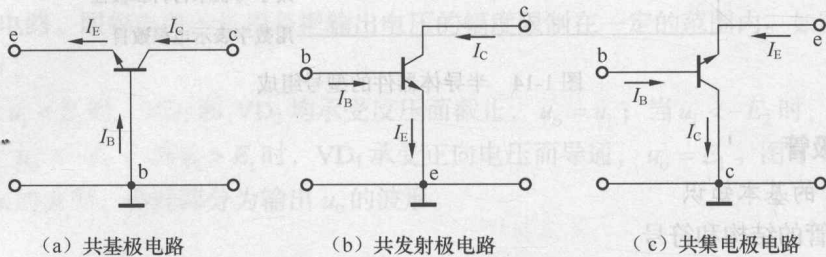


图 1-17 BJT 的 3 种连接方式

(3) 三极管电流放大原理

为了定量了解三极管的电流分配关系和放大原理，以图 1-18 所示电路进行实验。

① 三极管放大电路的偏置电压。实验时，加电源 U_{BB} ，让发射结正偏，加一个集电结电源 U_{CC} ，且 $U_{CC} > U_{BB}$ ，使得集电结反偏，来保证为满足三极管放大电路实现电流放大而提供偏置电源。

② 三极管放大电路的电流分配。通过改变电阻 R_B ，让基极电流 I_B 在不同的情况测得集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 都不一样，表 1-1 所示为一组实验所得数据。

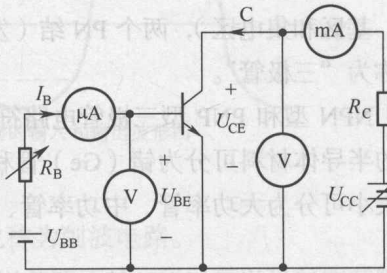


图 1-18 测试三极管电流放大作用的实验电路

表 1-1 实验数据

$I_B(\mu A)$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_C(mA)$	<0.001	0.7	1.50	2.30	3.10	3.95
$I_E(mA)$	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

分析表 1-1 中所得数据，可有如下结论：

- A. 三电极电流关系 $I_E = I_B + I_C$;
- B. $I_C \gg I_B$, $I_C \approx I_E$;
- C. $\Delta I_C \gg \Delta I_B$, $\Delta I_C / \Delta I_B = \beta$ (β 为常数，为三极管的电流放大倍数)。

③ 三极管放大电路的直流电流放大原理。图 1-18 所示的共发射极放大电路的基极输入电流 I_B ，输出回路中的电流 I_C 和 I_E 都是直流电流，下面讨论直流放大原理。

由表 1-1 中实验数据可以看出 I_B 和 I_C 的比值是一常数，这里用 $\bar{\beta}$ 表示，即