

高等工程专科学校教材

下册·电工电子
技术基础



龙杰民 主编
华中理工大学出版社

电工电子技术基础

(下册)

龙杰民 主编

责任编辑 黄以铭

•

华中理工大学出版社发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

湖南省长沙市银都教育印刷厂印刷

•

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.5 字数: 206 000

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

ISBN 7-5609-0391-6/TN·B3

印数: 1—5 500 定价: 1.90元

内 容 简 介

《电工电子技术基础》是根据国家教委关于《电工技术和电子技术基础》的基本要求编写的大专教材，分上、下两册出版。本书为下册，其内容包包括半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、数字电路、晶闸管及应用。

全书文字简练，概念清晰，重点突出，适用性强，具有专科教材特色。

本书可作为各类工科专科学校和成人高等教育非电类专业的教材，也可供有关技术人员参考。



序

十年来,我国的高等教育事业蓬勃发展,尤其是高等专科教育的发展更为迅速。为了进一步提高教学质量,急需编写、出版适合专科教学要求的教材。教材是师生进行教学活动的重要依据,决定着课程甚至专业的教学水平和教学效果。因此切实搞好教材建设,使专科学校的教材能充分体现专科的培养目标,符合教学大纲与教学计划的要求,是当前专科学校深化教学改革中的一项十分重要而又紧迫的工作。

各高等专科学校为了适应教学需要,根据专科的特点和教学要求,自编了部分教材或讲义,在一定程度上克服了长期使用本科教材因而难以体现专科特点的弊端。为了进一步提高教材编写和出版的质量,在国家教委的支持下,在华中理工大学出版社的积极倡导下,沈阳冶金机械专科学校、郑州机械专科学校、哈尔滨机电专科学校和湖南省轻工业专科学校等14所专科学校,于1987年5月成立了“东北、华中地区高等工程专科学校教材协调委员会”,组织和协调有关工程专科学校的教材编写工作。

经参加“协调委员会”的各校负责同志的协商,决定首先编写一套适用范围较广的教材,并由各校组织学术水平较高、教学经验丰富的教师分工合作,进行编写。由于参加编写教材的教师的共同努力,以及华中理工大学出版社的大力支持,现已编写好了一套适用于高等工程专科学校的教材,它们是高等数学、线性代数、概率与数理统计、大专物理、理论力学、材料力学、工程力学、电工电子技术基础、金属热加工、工程材料、机械原理、机械设计和机械工艺学。这些教材将由华中理工大学出版社陆续分批出版。

这套教材是在认真分析了十年来使用的国内外高校教材、自编讲义和较系统地总结了多年的教学经验的基础上编写出来的,因此较好地体现了专科特点,符合一般专科教学计划和教学大纲的要求,适合全日制高等工程专科学校以及夜大、职大、函大的工程专科班使用。

这套教材的特点是,符合专科培养目标,内容的深度、广度适当,突

出理论联系实际,注意知识的应用和学生能力的培养,适当介绍与反映了现代科学技术的新成就。这套教材不仅具有专科的特色和富于启发性,而且文字简练,结构严谨,插图清晰,是目前比较理想的专科教材,希望推广使用。

由于编写高等工程专科教材是一项新的工作,很多问题尚在探索之中,加之水平有限,编写时间较短,书中难免存在缺点和错误。殷切希望使用本教材的教师和广大读者批评指正。

东北、华中地区高等工程专科学校

教材协调委员会主任 于勤兹

于1988年5月

目 录

第九章 半导体器件	(1)
9-1 半导体二极管.....	(1)
一、二极管的基本结构与导电特性.....	(1)
二、二极管的伏安特性.....	(7)
三、二极管的主要参数.....	(9)
四、稳压二极管.....	(10)
五、发光二极管.....	(11)
9-2 单结晶体管.....	(12)
9-3 半导体三极管.....	(16)
一、基本结构.....	(16)
二、晶体管的电流放大作用.....	(17)
三、晶体管的特性曲线.....	(20)
四、晶体管的主要参数.....	(22)
9-4 场效应三极管.....	(24)
一、基本结构.....	(25)
二、工作原理.....	(25)
三、伏安特性曲线.....	(27)
四、场效应管与晶体管的比较.....	(28)
小结.....	(28)
习题.....	(30)
第十章 晶体管放大电路	(32)
10-1 共射极放大电路.....	(32)
一、基本共射极放大电路.....	(32)

二、放大电路的工作原理	(34)
三、交流放大电路的微变等效电路分析法	(39)
四、静态工作点的稳定	(47)
10-2 射极输出器	(52)
一、电路分析	(53)
二、射极输出器的应用	(55)
三、OTL功率放大器	(57)
10-3 阻容耦合多级放大电路	(59)
一、多级放大电路的耦合方式	(59)
二、多级放大电路的电压放大倍数	(62)
三、多级放大电路的输入电阻和输出电阻	(63)
四、多级放大电路工作点的安排	(65)
五、阻容耦合放大电路的频率响应	(65)
10-4 直接耦合放大电路	(68)
一、简单的直接耦合放大电路	(70)
二、NPN-PNP型管的组合电路	(71)
10-5 差动放大电路	(74)
一、零点漂移	(74)
二、基本差动放大电路	(76)
三、典型差动放大电路	(78)
四、具有恒流源的差动放大电路	(85)
五、差动放大电路的几种接法	(86)
六、OCL功率放大电路	(87)
七、阅图练习	(88)
10-6 场效应管放大电路	(90)
一、静态工作点的设置	(91)

二、源极输出器.....	(93)
小结.....	(94)
习题.....	(95)
第十一章 集成运算放大器及其应用	(107)
11-1 集成运放的基本性能.....	(107)
一、集成运放的组成.....	(107)
二、集成运放的理想模型和基本特点.....	(110)
三、集成运放的主要技术指标.....	(112)
11-2 集成运放的基本电路.....	(113)
一、闭环和负反馈的构成.....	(113)
二、集成运放负反馈的类型.....	(115)
三、集成运放的基本电路.....	(117)
11-3 集成运放的应用.....	(122)
一、比例放大电路.....	(122)
二、集成运放组成的基本运算电路.....	(125)
三、集成运放的应用举例.....	(130)
小结.....	(137)
习题.....	(138)
第十二章 直流稳压电源	(144)
12-1 整流及滤波.....	(145)
一、整流电路.....	(145)
二、滤波电路.....	(149)
12-2 直流稳压电路.....	(154)
一、并联型稳压电路.....	(154)
二、串联型稳压电路.....	(157)
三、集成稳压器简介.....	(160)

小结	(165)
习题	(167)
第十三章 数字电路	(171)
13-1 晶体管开关特性及反相器	(171)
一、脉冲信号	(171)
二、晶体管的开关作用	(172)
三、反相器	(176)
13-2 基本门电路	(178)
一、与逻辑关系及与门	(178)
二、或逻辑关系及或门	(181)
三、非逻辑关系及非门	(182)
13-3 集成逻辑门电路	(185)
一、TTL 与非门电路	(185)
二、MOS 门电路	(190)
13-4 集成逻辑门电路的组合	(195)
一、逻辑代数	(195)
二、组合逻辑电路的分析	(197)
三、组合逻辑电路的设计	(199)
13-5 集成电路触发器	(203)
一、R-S 触发器	(204)
二、主从J-K触发器	(210)
三、维持阻塞D触发器	(213)
四、集成触发器逻辑功能的转换	(217)
13-6 基本逻辑部件	(218)
一、寄存器和移位寄存器	(219)
二、计数器	(224)

三、译码器	(232)
13-7 数码显示电路	(235)
一、辉光数码管显示器	(235)
二、荧光数码管译码显示电路	(237)
三、液晶显示器	(242)
13-8 数/模转换及模/数转换器	(244)
一、数/模转换器	(245)
二、模/数转换器	(248)
小结	(255)
习题	(257)
第十四章 晶闸管及应用	(265)
14-1 晶闸管	(265)
一、晶闸管的工作原理	(266)
二、晶闸管的伏安特性和主要参数	(269)
14-2 晶闸管可控整流电路	(271)
一、单相半波可控整流电路	(271)
二、单相半控桥式整流电路	(272)
14-3 晶闸管触发电路	(275)
一、开关控制触发电路	(275)
二、电阻、二极管控制触发电路	(276)
三、电阻、电容、二极管控制触发电路	(276)
四、单结晶体管控制触发电路	(277)
五、单结晶体管同步触发电路	(278)
14-4 晶闸管的保护与应用	(281)
一、晶闸管的保护	(281)
二、应用电路	(283)

小结.....	(286)
习题.....	(287)
习题答案.....	(289)
附录 常用电气图形符号新旧国标对照.....	(291)
参考文献.....	(292)

第九章 半导体器件

本章主要内容是讨论模拟电路和数字电路中的核心部件——半导体器件。从半导体材料和半导体器件的基本结构PN结出发,介绍二极管、晶体管、场效应管、单结晶体管等半导体器件的结构、工作原理、外部特性和主要工作参数。

本章的基本要求是:掌握PN结的导电特性;理解晶体管的电流分配和放大原理;熟悉二极管、晶体管、单结晶体管、绝缘栅场效应管的基本结构、工作原理、特性曲线;了解二极管、晶体管的主要参数。

9-1 半导体二极管

一、二极管的基本结构与导电特性

1. 半导体及其导电特性

半导体是指导电性能介于导体和绝缘体之间的物质,如硅、锗、硒等。半导体的导电能力在不同条件下有很大差别。例如某些半导体在环境温度升高时,其导电能力大大增强,而另一些半导体受到光照时,其导电能力变强,无光照时大大减弱。利用这种特性可做成各种热敏元件和光电元件。又如在纯净的半导体中掺入微量的某种元素后,它的导电能力就可增加几百万倍。利用这种特性制成了各种不同的半导体器件,如半导体

二极管、三极管、场效应管、单结晶体管等。

最常用的半导体是硅和锗。其原子结构如图9-1所示，它们都是四价元素，各有四个价电子。硅和锗半导体材料经高度提纯后，其原子排列已变成非常整齐的晶体状态，称为单晶体，

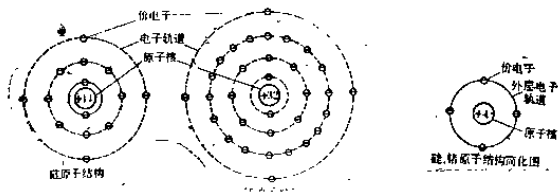


图9-1 硅、锗原子结构示意图

也称为**本征半导体**。硅或锗单晶体的结构如图9-2所示。其结构中，每一个原子与相邻的四个原子结合。每一原子的一个价电子与另一原子的一个价电子组成一个电子对。这对价电子是每两个相邻原子共有的，它们把相邻的原子结合在一起，构成所谓**共价键**结构。

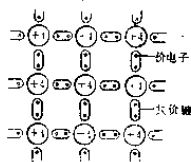


图9-2 硅或锗的共价键结构

硅和锗的共价键结构特点是价电子受两个原子核引力的束缚，在受温或光照时，由于热能或光能转化为电子的动能，其中少数电子即可挣脱原子核的束缚成为自由电子。如挣脱出一个自由电子，则在共价键中就留下一个空位，称为**空穴**。空穴的出现是原子失去电子的结果，这样的原子必然带正电，因此可以认为一个空穴就是一个正电荷。晶体中激发产生的自由电子（带负电）和空穴（带正电）总是成对出现，且数量相等，它们是半

导体中的载流子。如图9-3所示。

自由电子在外电场作用下定向运动形成带负电荷的电子电流，因为本征半导体中自由电子与空穴是等量出现的，所以必然会产生反方向运动的带正电荷的空穴电流。在半导体中同时存在着电子导电和空穴导电，这是半导体导电方式的最大特点，也是半导体和导体在导电原理上的本质差别。

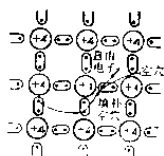


图9-3 空穴与自由电子的形成

2. N型半导体和P型半导体

本征半导体硅或锗都不能直接用来制造半导体器件。为了制造半导体器件，需将微量的杂质元素掺入到这些材料中去，这称为掺杂。掺有其他元素的半导体称为**杂质半导体**。杂质半导体一般分为两类：一类是N型半导体，另一类是P型半导体。

(1) N型半导体

在本征半导体硅或锗中掺入少量五价杂质元素如磷、砷、锑等。因为杂质的浓度很小(10^8 个硅或锗原子中掺一个磷原子)，不难想象，杂质原子将被晶格中的主原子所包围，如图9-4(a)所示为硅单晶体中掺入磷后的晶体结构示意图，掺入五价杂质磷后，它的四个价电子与其相邻的四个主原子的价电子形成共价键，但第五个价电子不能形成共价键而变成自由电子。因为它有盈余的自由电子，所以五价杂质称为施主杂质，而掺杂后的半导体称为N型半导体。

(2) P型半导体

掺入硼等三价杂质的半导体晶体结构示意图，如图9-4(b)

所示。硼的三个价电子只和相邻的三个主原子形成共价键，第四个相邻主原子就留下一个空位。由于热激发，从别的共价键

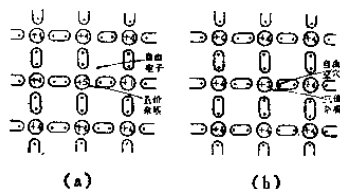


图9-4 掺杂半导体

(a)N型半导体

(b)P型半导体

来的电子填补这个空位，相应地在其它地方就产生一个新的空位，即形成空穴的运动。因为它有自由空穴盈余，所以三价杂质称为受主杂质，而掺杂后的半导体称为P型半导体。

在杂质半导体中，电子-空穴对的本征激发依然在 进行。但是由于杂质提供的载流子浓度在数量上居主导地位，因此在N型半导体中电子是多数载流子，由电子-空穴对的本征激发而产生的少量空穴是少数载流子。对P型半导体而言，则相反，空穴是多数载流子，而电子是少数载流子。尽管N型半导体和P型半导体都有一种载流子为多数，但整个半导体仍然呈现中性即不带净电荷。

3. PN结

利用掺杂工艺，在一块N型半导体的一部分形成P型，或在一块P型半导体的一部分形成N型，实现P型和N型的结合。结合处两边的载流子浓度相差很大，P区的空穴浓度远大于N区的空穴浓度，N区的电子浓度远大于P区的电子浓度。P区的空穴

将向N区扩散；N区的电子将向P区扩散，如图9-5（a）所示。扩散运动的结果，在P区和N区的交界处附近形成了一层很薄的**空间电荷区**也称为**阻挡层**或**耗尽层**。如图9-5（b）所示。这个空间电荷区又称为**PN结**。

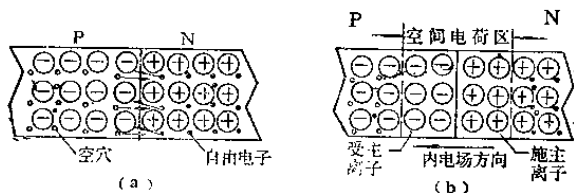


图9-5 PN结的形成

(a)扩散运动

(b)空间电荷区

空间电荷区产生一个内电场，其方向是由N区指向P区。内电场产生的电场力将阻止N区的多数载流子（电子）向P区扩散，阻止P区的多数载流子（空穴）向N区扩散。同时内电场力会使N区的少数载流子（空穴）向P区漂移，P区少数载流子（电子）向N区漂移。多数载流子的扩散运动将使空间电荷区加宽，而少数载流子的漂移运动将使空间电荷区变窄。当扩散运动与漂移运动两种作用相等时，达到暂时的动态平衡，空间电荷区不再加宽，即PN结的厚度维持不变。

4. 二极管的结构及导电特性

(1) 半导体二极管的结构及符号

半导体二极管由一个PN结加上二个引出线和管壳构成。N区引出线称为阴极，P区引出线称为阳极。按半导体二极管结构形式的不同可分为点接触型和面接触型。

点接触型二极管结构如图9-6(a)所示。其特点是PN结的

面积小,允许通过的电流也小,但结电容小,因此,一般用作高频信号的检波和小电流的整流。也可用作脉冲电路的开关管。

面接触型二极管结构如图9-6(b)所示,它的PN结面积大、能承受较大的电流,但结电容大,主要用于低频电路和大功率的整流电路。

半导体二极管的图形符号如图9-6(c)所示,箭头的方向表示其导电方向,粗短竖线边为阴极,箭头为阳极。按半导体二极管所用材料不同可分为硅管和锗管。

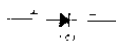
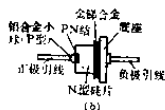
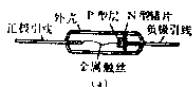


图9-6 二极管的结构与符号

(2) 二极管的导电特点

如果在二极管两极间施加正向电压(又称为正向偏置简称正偏),如图9-7(a)所示,电源 E 的正极接P区引线,负极接N区引线,则电源在PN结中产生的外电场与内电场的方向相反,内电场被削弱,空间电荷区变窄,有利于扩散运动的进行,PN结呈现很低的电阻,形成很大的扩散电流,即二极管的正向电流。此刻可视为二极管导通。二极管导通状态下,PN结呈现

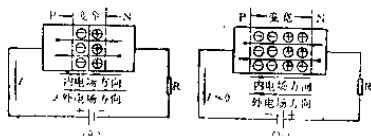


图9-7 二极管内部载流子运动情况
(a)加正偏时 (b)加反偏时