

广 播 电 视
中专教材

主编单位 广东广播电视大学
陕西广播电视大学

电子技术基础

江苏科学技术出版社

广播电视中专教材

电子技术基础

主 编 方树昌
主 审 沈裕钟

江苏科学技术出版社

(苏)新登字第002号

内 容 简 介

本书是根据国家教委1987年3月制定的中等专业学校工科电工类(少学时)《电子技术基础教学大纲》结合广播电视中专机电类专业的特点,适当精选内容和灵活安排编写的。

全书分模拟电子技术基础和数字电子技术基础两大部分。内容包括:半导体二极管及其在整流、稳压电路中的应用,半导体三极管及放大电路基础,反馈放大器与正弦波振荡器,功率放大器,模拟集成电路,晶闸管电路,脉冲与数字电路基础,组合逻辑电路,时序逻辑电路,脉冲的产生与整形电路等。每节后附有自我检测题,每章后附有学习指导和练习思考题。

本书内容起点为初中毕业文化水平,注重理论联系实际,突出应用。在内容阐述方面,以物理概念为主,深浅适度,解说清楚,既适合于中等专业学校机电类(少学时)专业作电子技术基础教材,也可作为成人中专、职业高中及职业技术教育的教材和参考书。

广播电视中专教材

电 子 技 术 基 础

方树昌 主编

出版、发行:江苏科学技术出版社

印 刷:盱 眈 县 印 刷 厂

开本787×1092毫米 1/16 印张20.75 字数503,000

1992年1月第1版 1996年1月第6次印刷

印数35,001—42,000册

ISBN 7—5345—1302—2

TN·32 定价:18.20元

责任编辑 许顺生

广 播 电 视 大 学

电视中专教材编制委员会

常务主任 孙家琰

(以下按姓氏笔画为序)

主 任	王朝宁	刘 聘	乔显浩	华锡全	
	张子清	张培钧	魏周瑜	曲国祯	
	刁淑卿	买德润	刘永兴	刘长福	许顺生
	孙德贵	苏 铮	宋正友	李立华	李栋林
	陈学中	陈金琪	陈裕水	杨治朝	周世健
	张承聚	张惠中	孟宪刚	赵太琦	降长春
	贾楚兰	韩云先	潘汉洲	魏国屏	
秘 书 长	刘兴武	刘国良			
委 员	马 林	马现章	王志忠	扎衣尔·依明	
	甘训德	冯庆典	孙广能	关瑞彬	巫观胜
	吴文阁	李仲奇	李连根	范文星	张 翼
	张永和	邹美华	杨世杰	陈 蕾	陈 豪
	陈宗彬	陈金龙	姜 屏	徐达华	袁克恩
	袁季康	崔军山	盛 毅	梁宣通	康世珍
	曾传兴	解长令			

出版说明

1985年《中共中央关于教育体制改革的决定》中明确指出：“广播电视教育是我国教育事业极为重要的组成部分。”全国电教会议提出要“调整广播电视教育的层次、结构，大力发展中、初等职业技术教育”，“充分利用广播电视教育的优势，有步骤地举办电视中专、电视职业中学等”。全国广播电视中专事业方兴未艾。

要办好广播电视教育，教材建设是首要的基本建设。鉴于目前还没有一套适用于广播电视远距离教育的中专系列教材，按照国家教委负责同志在广播电视大学工作座谈会上关于电大教材建设的讲话精神，江苏、河北、湖南、广东、云南、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、辽宁、湖北、江西、浙江、福建、新疆、黑龙江、吉林、内蒙古、广西、沈阳、青岛、南京、大连、成都、重庆、深圳、宁波、厦门、哈尔滨，以及淄博等省、市广播电视大学和江苏科学技术出版社共同参加，联合组成广播电视中专教材编制委员会，协作编制广播电视中专教材（包括文字印刷、声像教材）。第一批为语文、数学、物理、政治经济学、计算机应用基础、机械制图、理论力学、材料力学、工程材料及加工基础、机械设计基础、电工基础、电子技术、计算技术、经济应用文、会计学原理、统计学原理、经济法概论、企业经营管理、财政与金融、管理会计、审计学基础等21门课程。

广播电视中专的培养目标是中级专业技术人员。它的起点是初中毕业生水平。本广播电视中专系列教材依据国家颁布的中专各课程教学大纲，按照“一纲多本”的精神，紧密结合广播电视远距离教育的特点，并遵照中央广播电视大学教材编制两个规范进行编写、制作和审定。每门课程文字教材包括基本内容和学习指导，同时还制有声像教材与之相配套。本系列广播电视中专教材亦可作为普通中专、成人中专、职业高中、职工培训等用书，还可供自学使用。

编写系列广播电视中专教材是一次有益的尝试。我们恳请广大教师和读者对各门课程教材中存在的不足之处提出批评和建议，以便修订再版。

广播电视大学电视中专教材编制委员会

1990年12月

前 言

为了适应当前机电类广播电视中等专业学校《电子技术基础》课程的教学和从事电子技术应用人员的业务学习需要，由五个省市广播电视大学联合编写了这本《电子技术基础》教材。该书是根据国家教委1987年颁布的中等专业学校工科电工类（少学时）《电子技术基础教学大纲》，结合广播电视中专机电类专业的实际需要而编写的。它充分考虑到电视中专教学的特点，遵循“一新二精三适用”的编写原则，力求深入浅出，简明扼要，注重实际，便于自学。

本书可作为初中文化程度起点的机电、电工、电子电视中专、成人中专、专业证书班及有关业务人员岗位培训的教材，也可作为在职机电、电子、电工类人员短训班和自学用书。

参加本书编写的院校有：广东广播电视大学、珠海广播电视大学、陕西广播电视大学、深圳广播电视大学和江苏广播电视大学。

全书共十章。各章的执笔人是：第一章 李娅；第二章 潘汉洲；第三、五章 王宇；第四、六章 关瑞彬；第七、八、九、十章 方树昌。全书由珠海广播电视大学方树昌担任主编并负责全书的统稿，陕西广播电视大学王宇担任副主编，南京机械专科学校沈裕钟主审。

由于我们水平有限，时间仓促，不妥之处敬希读者批评指正。

《电子技术基础》编写组

1990年7月

目 录

绪论	1
----	---

第一章 半导体二极管及其在整流、4

稳压电路中的应用	5
----------	---

§ 1.1 半导体的基本知识	5
§ 1.2 半导体二极管	10
§ 1.3 整流及稳压电路	14
学习指导	25
练习与思考	29

第二章 半导体三极管及放大电路基础 32 8/0

§ 2.1 半导体三极管	32
§ 2.2 共射极基本放大电路	39
§ 2.3 放大器的图解分析法	44
§ 2.4 微变等效电路分析法	50
§ 2.5 放大器静态工作点的稳	

定问题	57
-----	----

§ 2.6 多级放大器	61
-------------	----

X § 2.7 场效应管放大器简介 67

学习指导	75
练习与思考	78

第三章 反馈放大器与正弦波 6

振荡器	84
-----	----

§ 3.1 反馈的基本概念	84
§ 3.2 反馈的分类与判别	87
§ 3.3 负反馈对放大电路工作	

性能的影响	92
-------	----

§ 3.4 射极输出器	95
§ 3.5 正弦波振荡器	100

学习指导	104
练习与思考	106

h第四章 功率放大器 112

§ 4.1 功率放大器概述	112
---------------	-----

§ 4.2 无输出变压器的功率放大器	115
--------------------	-----

学习指导	122
------	-----

练习与思考	124
-------	-----

第五章 模拟集成电路 1-10 126

§ 5.1 集成电路概述	126
--------------	-----

§ 5.2 模拟集成电路中的直 接耦合放大器	128
---------------------------	-----

§ 5.3 差动式放大电路	131
---------------	-----

§ 5.4 集成运算放大器	137
---------------	-----

§ 5.5 集成运放的运算功能	143
-----------------	-----

§ 5.6 运算放大器的应用	148
----------------	-----

§ 5.7 集成稳压电源	153
--------------	-----

§ 5.8 集成功率放大器	158
---------------	-----

学习指导	160
------	-----

练习与思考	163
-------	-----

第六章 晶闸管电路 6 168

§ 6.1 晶间管	168
-----------	-----

§ 6.2 可控整流电路	175
--------------	-----

§ 6.3 晶闸管的触发电路	185
----------------	-----

§ 6.4 应用电路举例	191
--------------	-----

学习指导	193
------	-----

练习与思考	195
-------	-----

第七章 脉冲与数字电路基础 8 198

§ 7.1 概述	198
----------	-----

§ 7.2 数制与码制	200
-------------	-----

§ 7.3 二极管与三极 管的开关特性	203
------------------------	-----

§ 7.4 基本逻辑关系 和逻辑门电路	206
------------------------	-----

§ 7.5 逻辑代数的基本	
---------------	--

定律和运算规则.....	217
§ 7.6 逻辑函数的卡诺图化简.....	221
学习指导	228
练习与思考	233

第八章 组合逻辑电路237

§ 8.1 组合逻辑电路的 特点和分析、设计方法.....	237
§ 8.2 编码器.....	240
§ 8.3 译码器.....	241
§ 8.4 数字显示电路.....	245
§ 8.5 数据选择器和数据分配器	249
学习指导	252
练习与思考	254

第九章 时序逻辑电路256

§ 9.1 时序逻辑电路的特点及 分析方法.....	256
§ 9.2 集成触发器.....	257
§ 9.3 寄存器.....	265

§ 9.4 计数器.....	271
§ 9.5 数字电路应用实例与 读图方法.....	274
学习指导	278
练习与思考	281

第十章 脉冲的产生与整形电路283

§ 10.1 简单的脉冲波形变换电路 ...	283
§ 10.2 单稳态触发器	288
§ 10.3 多谐振荡器	292
§ 10.4 施密特触发器	294
§ 10.5 用定时器(5G 555)组成的 脉冲产生与整形电路	297
学习指导	301
练习与思考	304

附 录306

附录 I 自测题练习与思考答案	306
附录 II 半导体集成电路型号命名 方法	321

绪 论

一、电子技术的应用与发展概况

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学。现代电子科学技术的飞速发展和广泛应用,引起了人类从生产到生活各方面的巨大变革。到了20世纪90年代的今天,电子技术的应用更为广泛,无论是工农业生产、国防建设和科学技术的各个方面,还是人们生活中的衣食住行等等,都离不开它。之所以这样,是由于电子器件具有反应迅速、灵敏度高以及使用轻便、可靠等优点的缘故。例如,高速的电子计算机每秒能进行10亿次以上的运算;精确的电子温度调节器,可以将温度的变化维持在千分之一摄氏度的范围以内。

电子技术是在19世纪末无线电发明之后才发展起来的。1906年世界上第一个真空三极管问世后,电子技术领域发生了一系列重大的变化。真空管时代持续了40多年,它不仅引起了通信技术的深刻变革,而且逐步推广到国民经济的各个部门,推动了测量技术、计算技术及自动控制技术等方面的迅速发展。

1926~1930年制成了氧化亚铜整流器,并发现了晶体检波器,进一步促使人们对于半导体的深入研究。1947年提出了PN结理论,次年制成了第一只半导体三极管,这是电子技术发展的一个重要里程碑。由于半导体器件具有体积小、重量轻、功耗小和寿命长等一系列优点,很快地取代了真空管在电子技术领域的主导地位。因此,人们把真空管称为第一代电子器件,而把晶体管称为第二代电子器件。

但是,晶体管时代只维持了13年。由于电子计算机的广泛应用,宇宙航行的迅速发展,对电子设备的微型化和可靠性提出了更高的要求。1960年世界上第一次出现了把四个元件组成的单元电路集中制作在一小块硅片上的新型电子器件,这就是人们熟知的“集成电路”。它打破了几十年来一直由分立元件组成电子电路的传统观念,给电子技术带来了深刻的影响。因此,集成电路通称为第三代电子器件。

到了70年代,从电路的集成进一步发展到系统的集成,这就是大规模集成电路,称为第四代电子器件。随着科学技术的不断发展,目前,电子技术又进入了第五代的超大规模集成电路的发展时期。这种超大规模集成电路,每一芯片中包含元、器件数可超过 10^6 个。现代的微型计算机采用大规模和超大规模集成电路,体积做得很小,功能丰富,运算速度每秒可达上亿次以上,而价格则不断地降低。可以预料,随着科学技术和经济的发展,电子技术将得到更广泛的应用与更迅速的发展。

二、本课程的性质、任务和要求

(一)课程的性质和任务

本课程是中专机电类(少学时)各专业的技术基础课。它包括模拟电路及脉冲与数字电路两部分,是一门理论与实践紧密结合的课程。

本课程的任务是使学生取得从事与电子技术有关工作的中等专业人才必须具备的基本理论、基本知识和基本技能，并为有关的后续课程打下一定的基础。结合课程的教学培养学生辩证唯物主义观点，实事求是的科学态度和分析问题、解决问题的能力。

(二)课程的基本要求

通过本课程的教学，应使学生达到下列基本要求：

1. 基本理论、基本知识

(1) 电子器件方面。

熟悉常用半导体器件（半导体二极管、三极管、场效应管、晶闸管、模拟及数字集成电路）的简单结构、基本功能、外特性及主要参数。

(2) 电路方面。

掌握模拟电路及脉冲与数字电路中常用的基本单元电路和典型电路的结构、工作原理、性能和具体应用。

(3) 分析方法方面。

了解放大电路的图解分析法，会确定静态工作点；掌握简化的微变等效电路分析法，能计算放大倍数、输入和输出电阻；熟悉逻辑代数的基本定律和不多于四变量的卡诺图化简法。

2. 基本能力

(1) 熟悉电子电路实验中常用电子仪器（包括示波器、信号发生器、数字万用表、直流稳压电源等）的使用方法，初步掌握基本电子电路的测试技术。

(2) 初步具有查阅电子器件手册和较合理地选用器件的能力。

(3) 对基本单元电路具有定性分析和初步定量估算的能力。

(4) 具有阅读和分析简单电子电路原理图的能力。

(三)课程的学习方法

(1) 着重了解半导体电路器件及其电路的外部特性、功能和具体应用。

本课程主要讨论各种半导体电路的基本原理及其在工业上的应用。采用“管、路结合，管为路用”的原则。“管”是指各种半导体管，“路”是指由半导体管和电阻、电容等元器件组成的各种电子电路。也就是说，在学习“管”时，应着重了解它的特性和具体应用；学习“路”时则要从物理概念出发，掌握一些典型电路的原理和功能，并学会看懂电子电路图的方法。对于“管”（包括集成电路）的内部机理或电路一般不作深入分析。

(2) 模拟电路侧重于线性集成电路的应用；脉冲与数字电路侧重于中、小规模数字集成电路的应用。

(3) 电子电路以定性分析为主，在搞清概念的基础上，辅以必要的定量估算，使之具有一定的数量级概念。

必须指出，本课程是一门技术基础课，着重“技术”两字。由于半导体器件参数的分散性，存在较大的偏差，电阻、电容等元件一般有 $\pm 5\%$ 的误差，有的甚至更大。在这种情况下，盲目追求严格的计算，意义不大。所以在本课程中，要特别注意进行近似计算、实验调整和处理工程技术问题方法的训练。

(4) 必须注意理论联系实际。

④ 本课程是一门实践性很强的技术基础课。因此实验课在本课程中占有特别重要的地位。它不仅能巩固所学理论,培养科学作风,而且能锻炼分析问题和解决问题的能力。应保证实验学时和创造良好的实验条件,使学生有充分实践的机会。同时通过电化教育、实物教学和演示等环节,以加深学生对物理概念的理解。

习题是培养学生分析和解决问题能力的重要手段,也是加深和巩固所学基本理论的重要措施,学生也可以用来检查自己的学习情况。本书每一节后都安排有自测题,帮助学生自我检查是否掌握了本节的基本内容。每章之后安排了较多的练习与思考题,供在教与学的过程中根据具体情况选用。书后附有答案,便于对照检查。

(5) 自学方法建议。

在每一章学习之前,学生应先阅读该章后面的“学习指导”,并按下列步骤进行:

① 阅读“学习指导”中关于本章的教学目的要求。

了解本章在本课程中的地位与作用、基本要求、及学时安排;明确本章内容应掌握的深度。

② 阅读“学习指导”中,关于本章的重点和难点。

阅读这一部分做到心中有数,便于抓住重点,突破难点,有利于积极主动地学习。

③ 阅读“学习指导”中关于本章的学法提示。

根据教学经验和各章的具体情况,编者在这部分作了具体的提示,以指导学生对本章内容的学习。

④ 阅读本章教材内容。

阅读教材时应特别注意弄清基本概念、掌握分析问题的思路,并要注意归纳总结其规律。由于本门课程的基本概念和基本分析方法都体现在单元电路的分析之中,所以对主要单元电路必须掌握要领,要着重学会在定性分析的基础上进行简单的定量估算。

⑤ 阅读“学习指导”中第二部分关于本章的内容提要。

这一部分是对本章内容的简要归纳,帮助学生进行学习总结、提高。

⑥ 自我检查学习效果。

每节后的自测题和每章后的练习与思考题,供师生选用,以检查学习效果。自测题是以消化基本内容为主,是必须掌握的知识。练习与思考题分A组与B组。A组是在自测题的基础上作适当的扩充,B组属于综合思考训练,带有提高性质。

三、关于教学大纲的几点说明

(一) 根据中等专业学校机电类专业(少学时)培养目标要求,大纲规定了课程的最基本内容和要求。总学时为120学时,其中讲课86学时,习题课或讨论课8学时,实验课24学时,机动2学时。课内外学时比为1:1.5。

(二) 课时分配的建议

课时分配表是建议性方案,教学过程中,在保证达到基本要求的前提下,可作适当调整。

序号	课 程 内 容	教 学 时 数			
		讲课	习题课或 讨论课	实验	合计
1	绪论	1		2	3
2	半导体二极管及其在整流、稳压电路中的应用	6	1	4	11
3	半导体三极管及放大电路基础	14	1	2	17
4	反馈放大器与正弦波振荡器	7	1	2	10
5	功率放大器	4			4
6	模拟集成电路	15	1	4	20
7	晶闸管电路	8	1	2	11
8	数字电路的基本知识	9	1	2	12
9	组合逻辑电路	6	1	2	9
10	时序逻辑电路	10	1	2	13
11	脉冲的产生与整形电路	6		2	8
	机 动			2	2
	合 计	86	8	26	120

(三)本教材特点。

为了适应广播电视远距离教育的特点，便于学生自学，努力把“教本”转变为“学本”，初次尝试在本教材每章之后编排“学习指导”，内容包括：学习目的要求、本章小结、学法提示和练习与思考，书后还附有答案，便于自学查对。

本书带*号的章节为选讲内容。

第一章 半导体二极管 及其在整流、稳压电路中的应用

半导体二极管是结构最简单的电子器件，利用二极管等器件构成的整流、稳压电路是最基本、最常用的电子电路。收录机、电视机、电子计算机以及一切电子仪器都要用到它。利用大功率硅二极管制造的整流器已经在工业上获得广泛应用。

§ 1.1 半导体的基本知识

一、什么是半导体

我们把自然界中导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质称为半导体。半导体所以能得到广泛地应用，主要是因为它具有一些特殊的导电性能。例如，半导体的导电能力随温度升高而显著增强，而绝大多数导体的导电能力均随温度升高而有所下降。又如，在纯净的半导体中掺入微量的杂质，其导电率就会惊人地增加。此外，半导体的导电能力还受光线的照射、电磁场等作用而变化。

利用半导体的上述特性，人们可以制造出各种各样的半导体器件。半导体的上述导电特性是由它的原子结构所决定的。下面我们通过研究半导体内部的导电规律来进一步说明。

二、本征半导体

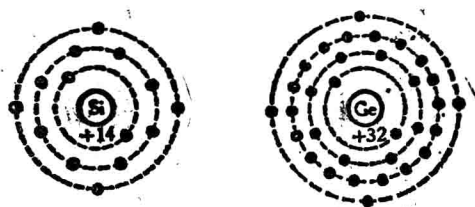
1. 本征半导体的原子结构

完全纯净的、没有杂质的半导体称为本征半导体。它是制造半导体器件的基本材料。最常用的半导体有硅和锗。它们的原子结构如图1-1所示。由图1-1可见，硅和锗原子最外层轨道上有4个价电子，它们都是四价元素。

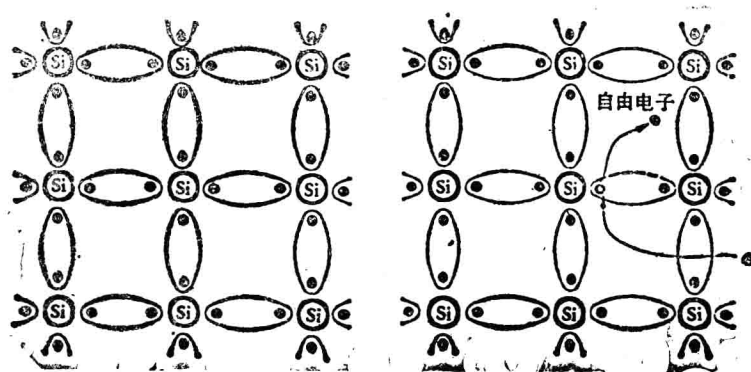
由于绝大多数半导体是晶体，因而往往把半导体材料称为晶体。它内部的原子按着一定规律整齐地排列着，每个硅(或锗)原子最外层的4个电子不仅受到自身原子核的束缚，而且还受到相邻原子核的吸引，使得一个价电子为相邻的原子核所共有，形成共价键结构，如图1-2(a)所示。

2. 本征半导体中的载流子

半导体中的价电子由于共价键的束缚作用，没有足够的能量是不能脱离原子的束缚形成自由移动的电荷。但是，半导体共价键中的价电子并不象绝缘体中的电子被束缚得那样



(a) 硅(Si)原子结构 (b) 锗(Ge)原子结构
图1-1 硅、锗的原子结构平面示意图



(a) 硅单晶共价键结构 (b) 热运动产生的电子-空穴对

图1-2 硅晶体的结构与电子-空穴对的产生

紧,在室温下,会有少数价电子受热激发获得足够的能量,挣脱共价键的束缚成为自由电子。值得注意的是,每当一个价电子挣脱了束缚成为自由电子以后,同时它在它原来的位置上就留下一个空位,称为“空穴”(如图 1-2 b所示)。由此可见,电子和空穴总是成对出现的,常称为电子、空穴对。这里认为空穴是一个带有与价电子电量相等而符号相反的正电荷。共价键出现了空穴后,邻近原子的价电子就很容易来进行填补,而在该电子原来的位置上又留下新的空穴,又有相邻的价电子来填补,再出现新的空穴……,从而形成了价电子填补空穴的运动。这种现象也可看成是空穴沿着与价电子相反的方向在运动,我们把这种运动叫做“空穴”运动。从本质上讲,空穴运动就是价电子从一种束缚状态转移到另一种束缚状态的运动。它和自由电子的运动情况是有所不同的。打个比方,好像大家在剧场里看戏,如果前排走了一个人,后面的观众填补空位向前坐,看起来好像是空位在向后移动,这就好比是空穴运动,而那些没有票的观众在剧场中随便走动的现象就好比是自由电子的运动。

综上所述,在半导体中存在着两种载流子;带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴,这是半导体导电区别于导体导电的一个显著特征。在外电场作用下,自由电子逆着电场方向移动形成电子电流;空穴顺着电场方向移动形成空穴电流(两种电流的实际方向是一致的),它们的和即是半导体中的电流。我们把这两种载流子在电场作用下定向运动形成的电流称为漂移电流。半导体中载流子数量越多,电流越大。

半导体在热(或光照等)作用下,一方面产生电子、空穴对,此现象称为本征激发,同时,我们还可看到,当运动中的电子“跳进”空穴时,又会使电子、空穴对消失,这种现象称为复合。在一定温度下,电子、空穴对的产生与复合维持在一个平衡状态。也就是说,某种半导体在某一温度下,其载流子的浓度为一定值。当温度升高时,载流子浓度按指数规律增大,故半导体的导电能力将随温度的增加而显著增强。在室温下,由于本征激发的载流子数量很少,所以本征半导体的导电能力很差。

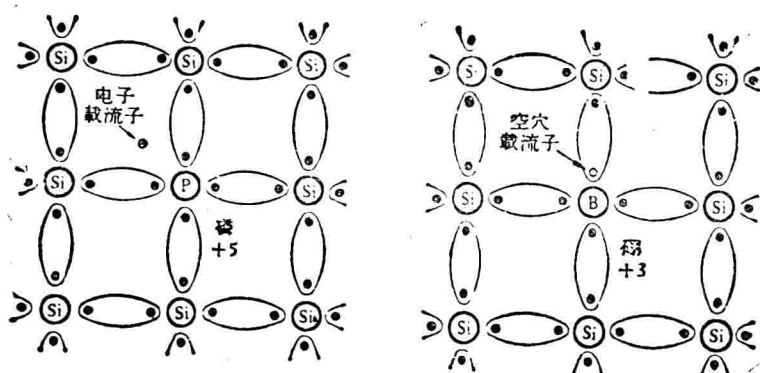
三、杂质半导体

本征半导体的导电能力是很弱的,但是,在本征半导体中掺入微量的其它杂质元素,制成杂质半导体,就会使其导电能力发生显著变化。例如,在每立方厘米的硅中,掺入的磷原

子仅为硅原子的 10^6 分之一时，在室温下载流子浓度要提高 10^6 倍。按照掺入杂质的不同，杂质半导体可分为N型半导体和P型半导体两大类。

1. N型半导体

在硅(或锗)本征半导体中掺入少量的五价元素，即形成N型半导体。例如，在硅中掺入五价的磷元素，由于每个磷原子最外层有五个价电子，其中四个价电子分别与相邻的四个硅原子组成四个共价键，多余的一个价电子处在共价键之外(如图 1-3a 所示)。这个多余的价电子由于受原子核的束缚很小，因此很容易成为自由电子。掺入硅中的每一个磷原子都可能提供一个电子，这样，除了硅半导体本征激发的电子、空穴对外，由于杂质原子提供了许多额外的电子，使电子的浓度远大于空穴的浓度，因此在N型半导体中，电子为多数载流子，而空穴为少数载流子。



(a) 硅中掺磷形成空穴(P型)

(b) 硅中掺磷形成电子(N型)

图1-3 硅单晶掺杂的示意图

2. P型半导体

在硅(或锗)本征半导体中掺入少量的三价元素，即形成P型半导体。例如，在硅中掺入三价硼元素，因硼原子最外层只有三个价电子，它与周围四个硅原子相结合形成共价键时，就自然提供了一个空穴(如图 1-3b 所示)。掺入硅中的每一个硼原子都可能提供一个空穴。同理，可以分析得到，在P型半导体中，空穴是多数载流子，而电子是少数载流子。

应当注意的是，N型和P型半导体，它们仍然是电中性的。这主要是由于本征半导体和掺入的杂质都是电中性的，而且在掺杂过程中既不丧失电荷也不从外界得到电荷，仅仅是使半导体中电子或空穴浓度发生了变化，而整个半导体内正、负电荷的平衡状态并没有被破坏。

四、PN结及其单向导电性

杂质半导体的导电能力虽然增强了，但是，纯净的P型或N型半导体还不具备半导体器件所要求的各种特性，必须通过一定的工艺措施，使同一晶片上的P型半导体和N型半导体在交界面上形成一个PN结。PN结是构成许多半导体器件的基础。

(一) PN结的形成

如前所述，P型半导体中有大量的空穴，N型半导体中有大量的电子，当把它们结合在

一起时，由于界面两侧的空穴和电子浓度有很大的差别，P区的空穴就要向N区运动，同样，N区的电子也要向P区运动，这种由于浓度差别而引起的运动称为扩散运动。扩散到N区的空穴与电子复合而消失，因而在界面附近N区一侧出现了不能移动的正离子。同理，扩散到P区的电子与空穴复合而消失，在界面附近P区一侧出现了负离子，如图1-4所示。这些不能移动的正、负离子称为空间电荷，它们在界面形成了一个很薄的空间电荷区，这就是所说的PN结。由于空间电荷区中的多数载流子都已扩散到对方并被复合掉了，或者说

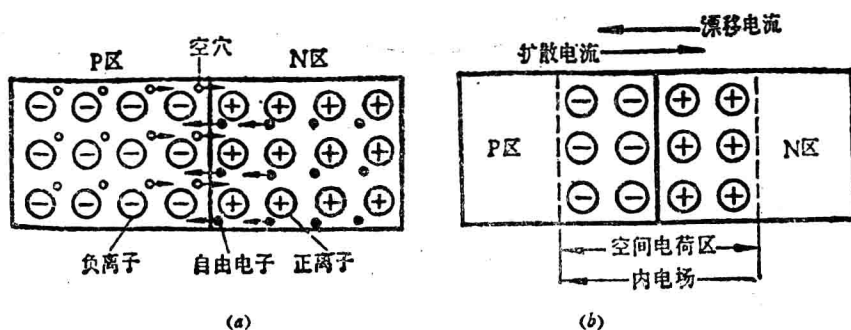


图1-4 PN结的形成

消耗尽了，所以空间电荷区又称为耗尽层。它的左面带负电，右面带正电，形成一个内电场，其方向由N区指向P区。显然，内电场的方向与多数载流子扩散运动的方向相反，它将起阻碍多数载流子扩散的作用(从这个意义上看，空间电荷区又可看作是一个阻挡层)。这个内电场将使P区和N区中少数载流子产生漂移运动，即使N区中的空穴向P区漂移，使P区中的电子向N区漂移，漂移运动的方向正好与扩散运动的方向相反。

PN结中多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动是一对互相联系又互相矛盾的运动。扩散使空间电荷区加宽，内电场增强，对多数载流子的阻力增大，但使少数载流子的漂移增强；少数载流子与空间电荷复合，其结果使空间电荷区变窄，内电场削弱，又将使扩散容易进行。扩散和漂移最终将达到平衡，即多数载流子的扩散运动等于少数载流子的漂移运动，且二者方向相反。空间电荷区中没有电流通过，PN结处于平衡状态(称为平衡PN结)。

动态平衡状态

(二) PN结的单向导电性

当在PN结上施加直流电压时，它的平衡状态即遭到破坏，PN结将呈现出单向导电的特性。

1. 外加正向电压

给PN结外加一个正向电压，即电源正极接P区；负极接N区，称为正向偏置。这时，外电场与内电场方向相反，如图1-5(a)所示。在这个外加电场作用下，将驱使N区的电子和P区的空穴向PN结移动，从而中和了空间电荷区中的一部分正、负离子，结果使空间电荷区变窄，内电场削弱。这样，将使P区和N区中的多数载流子能畅通地通过PN结，形成较大的扩散电流。表现在外电路就有一个流入P区的正向电流 I_F 。当外加电压增大时，PN结的内电场便进一步减弱，则 I_F 随之增加。此时，PN结表现为一个很小的正向电阻。

可见，PN结加正向电压时，有利于多数载流子的扩散运动，而不利于少数载流子的漂移运动。

2. 外加反向电压

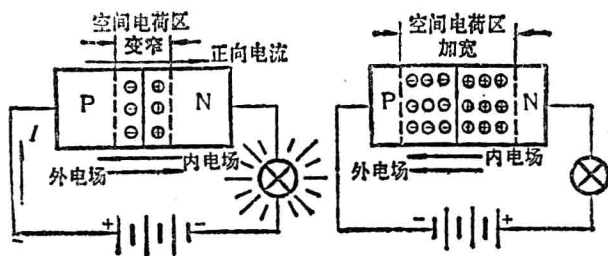
若给 PN 结加上反向电压, 即电源正极接 N 区, 负极接 P 区, 称为反向偏置。

这时, 外电场与内电场方向相同, 如图 1-5(b) 所示。空间电荷区变宽, 内电场增强, 有利于少数载流子的漂移运动, 而不利于多数载流子的扩散运动。表现在外电路上就有一个流入

N 区的反向电流 I_R 。由于少数载流子的数量很少, 并在一定温度时其数量为一定值, 所以反向电流不仅很小, 而且当外加电场足以把它们吸引出来形成电流后, 它基本不随外加电压增大而增加。故此时, 可认为 PN 结基本不导电, 表现为一个很大的反向电阻。

✱ 需要指出的是, 反向电流受温度影响很大。这是因为当温度升高时, 本征激发产生的少数载流子将急剧增加, 所以 I_R 亦随之增大。

综上所述, PN 结加正向电压时, 呈现为低电阻, 处于导通状态; 而加反向电压时, 呈现为高电阻, 处于截止状态, 这种特性称为 PN 结的单向导电性。



(a) 加正向电压 PN 结导通

(b) 加反向电压 PN 结截止

图1-5 PN 结的单向导电性

自 测 题

一、填 空

1. 在本征半导体中掺入少量的三价元素, 将产生____(空穴、自由电子), 形成____(P、N)型半导体。
2. 当 PN 结外加正向电压时, 内电场____(削弱、增强), 扩散电流____漂移电流(大于、小于、等于)。当 PN 结外加反向电压时, 耗尽层____(变窄、变宽、不变), 此时流过 PN 结的电流____(很小、较大、等于零)。
3. (平衡)PN 结是由于多数载流子的____运动与少数载流子的____运动, 处于动态平衡而形成的。

二、选择(在所选正确答案上打“✓”)

4. 空穴是:
A. 电子脱离共价键留下的空穴 B. 带正电的离子
5. P 型半导体的多数载流子是空穴, 所以 P 型半导体是:
A. 带正电 B. 带负电 C. 呈中性
6. 本征半导体的导电能力将随温度的增加而显著增强, 这是由于
A. 自由电子数量增加多于空穴 B. 空穴数量增加多于电子 C. 自由电子和空穴数量都增加, 且增量相同