

机械工业部统编

电子技术基础

机械类技工学校教改教材

机械工业出版社



机械类技工学校教改教材

电子技术基础

机械工业部 统编



机械工业出版社

本书内容包括晶体二极管、晶体三极管、晶闸管、计数器、寄存器等器件的结构和工作原理,晶体管放大电路、晶体管正弦波振荡电路、直流放大电路、集成运算放大电路、整流与稳压电路、数字电路、逻辑代数、数字显示电路及晶闸管的应用等。

本教材介绍了电子技术中的基本知识,注重介绍当前电子技术中的新理论、新技术,为突出能力的培养,每章后编有一定数量的复习题,书后还附有实验和部分复习题参考答案,具有理论联系实际、着重实用的特色。

本书是机械类技工学校电工与仪表类专业教材,也可供职业中专师生和电气工程技术人员等作为培训、考试、阅读等参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/机械工业部统编. —北京:机械工业出版社, 1995.7 (2001.7 重印)

机械类技工学校教改教材

ISBN 7-111-06509-3

I. 电… II. 机… III. 电子技术—技工学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 057991 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王振国 边 萌 版式设计:张世琴 责任校对:韩晶

封面设计:姚 毅 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 5 次印刷

787mm × 1092mm 1/32 · 11.125 印张 · 241 千字

定价:15.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

机械工业部 技工学校教材编审领导小组

(排名不分先后)

组	长	郝广发			
组	员	于新民	董无岸	梁志杰	常国忠
		李清国	沈天宝	王文堂	刘亚琴
		李超群			

机械行业技工学校专业教学指导委员会名单

(排名不分先后)

切削加工类专业

主任委员	梁志杰				
秘 书	李长江				
副主任委员	周裕成	李翠萍	张云福		
委 员	刘冠华	吴秀峰	杨克信	徐红增	
	陈之乾	李东光	邹纪堂	王文久	
	朱兴培	张世光	李正中	曹 雁	
	王浩清				

钳 工 类 专 业

主 任 委 员	常国忠				
秘 书	陈之乾				
副主任委员	孟宪水	钱建国			
委 员	程宗义	王渭武	孟宪纲	陈继琨	
	董国栋	肖海英	阎同谱	张立铨	
	徐佐翥	徐 时	杨建敏	茹常有	
	孙炎瞳				

热 加 工 类 专 业

主 任 委 员	沈天宝				
副主任委员	缪承伟	王志昌			
委 员	苗家鸿	葛永顺	刘万远	王克伟	
	杨世增	韩荣祥	朱嘉英	柳吉荣	
	李万义				

焊 工 类 专 业

主 任 委 员	姜方辉				
秘 书	李清国				
副主任委员	朱康民	郁良芳			
委 员	张济朴	梅启钟	麻 潭	邹尚利	
	雒庆桐	王书梅			

电 工 与 仪 表 类 专 业

主 任 委 员	王文堂
秘 书	王雨榕

副主任委员 薛慎伟 孙荣成
委 员 李 丽 周惠临 梁保生 刘彬文
张裕坤 兰家富 董桂桥

轴 承 类 专 业

(略)

前 言

机械工业技工学校学习借鉴德国职业教育“双元制”的经验,结合我国国情,在车、钳、铣、铸、焊、冷作6个专业范围内开展“2:1”教学改革,15年来成果显著。毕业生的综合职业素质,特别是职业技能和从业适应能力有了明显的提高,普遍受到企业和其他用人单位的欢迎。教改教材也得到了广泛的好评。

1997年,机械行业技工学校专业教学指导委员会认真总结“2:1”教改经验,吸收各方面的意见和建议,依据机械工业部、劳动部颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》,以及劳动部印发的《技工学校专业目录》,对《机械类技工学校教学计划、教学大纲》和教改教材中的文化、理论课教材进行了修订、修改。同时,为适应技工学校教学改革进一步发展的需要,由行业电工仪表类专业教学指导委员会组织有关学校,依据新修订的电气安装维修类专业(包括企业供电和电气维修两个专业,简称电工专业)教学计划、教学大纲,编写了机械类技工学校电工专业理论课教改教材《电工数学》、《电工基础》、《电子技术基础》、《机械常识与识图》、《微机与应用》、《电机与变压器》、《电力拖动与控制》、《电工仪表与测量》、《输配电与安全技术》等9种,与已经出版的电工专业生产实习教材《电工技能培训理论》、《电工技能培训图册》相配套,形成了一套完整的、具有鲜明的教学改革特色的技工学校电工专业教材。新教材注意了贯彻最新国家

标准,采用法定计量单位、最新电工名词术语和图形符号。根据教学大纲的要求,本套教材同时适用于初中生三年制和高中生两年制教学使用。

在编写过程中,尽管我们虚心学习各种不同版本同类教材的优点,力求编写出一套比较好的、更加实用的教材,但是由于种种条件的限制,教材中还是会存在这样或那样的问题,恳切希望专家和广大读者批评指正。

本教材第一、二、三章由于平编写,第四、五、九、十章由周瑞华编写,第六、七、八章由周惠临编写,由周惠临主编。全书由孙荣成审稿。

机械行业技工学校
电工仪表类专业教学指导委员会

目 录

前言

第一章 晶体二极管和晶体三极管	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 晶体二极管	7
第三节 晶体三极管	13
本章小结	22
复习题	23
第二章 晶体管放大电路	25
第一节 放大器的基本概念	25
第二节 放大器参数的分析方法	31
第三节 稳定静态工作点的偏置电路	37
第四节 放大器中的负反馈	41
第五节 多级放大器	51
第六节 放大器的三种基本电路	58
第七节 功率放大器	60
本章小结	74
复习题	75
第三章 晶体管正弦波振荡电路	77
第一节 正弦波振荡电路的基本原理	77
第二节 LC 振荡器	80
本章小结	87
复习题	88
第四章 直流放大电路	89

第一节 直流放大器	89
第二节 零点漂移	92
第三节 差动式直流放大器	95
本章小结	104
复习题	105
第五章 集成运算放大器	107
第一节 线性集成电路简介	107
第二节 运算放大器的基本分析方法	110
第三节 集成运算放大器应用简介	115
第四节 运算放大器应用举例	120
本章小结	125
复习题	126
第六章 整流与稳压电路	129
第一节 单相整流电路	130
第二节 三相整流电路	138
第三节 滤波电路	144
第四节 硅稳压管及其稳压电路	150
第五节 晶体管串联型稳压电路	154
本章小结	160
复习题	161
第七章 数字电路基础	164
第一节 二极管与三极管的开关特性	165
第二节 基本逻辑门电路	173
第三节 数字集成电路简介	188
本章小结	202
复习题	203
第八章 逻辑代数	206

第一节 逻辑运算	206
第二节 逻辑函数	210
第三节 逻辑表达式的化简	215
第四节 逻辑代数的应用举例	226
本章小结	231
复习题	232
第九章 基本数字部件	234
第一节 计数器	234
第二节 寄存器	248
第三节 数字显示电路	254
本章小结	265
复习题	266
第十章 晶闸管及其应用	269
第一节 晶闸管简介	269
第二节 晶闸管触发电路	279
第三节 晶闸管整流电路	290
第四节 快速晶闸管和双向晶闸管	302
本章小结	307
复习题	309
实验一 低频小信号电压放大器	312
实验二 直流放大器	315
实验三 串联型稳压电路	317
附录	320
附录 A 晶体管的型号	320
附录 B 常用晶体二极管参数	321
附录 C 常用晶体三极管参数	329
部分复习题参考答案	342

第一章 晶体二极管和晶体三极管

自从第一个晶体管于1948年试制成功以来,半导体技术发展极为迅速。由于晶体管、集成电路等半导体器件具有体积小、重量轻、耗电少、寿命长及工作可靠等一系列优点,在现代生产与科学技术的各个领域得到了广泛应用。为了正确和有效地运用半导体器件,必须对它们的工作原理和性能有一个基本认识。

本章主要介绍半导体的基本知识,研究和探讨晶体二极管、晶体三极管的结构、特征、工作原理、主要参数及检测方法。为学习以后章节提供必要的基础知识。

第一节 半导体的基本知识

一、半导体及其特征

自然界中的物质,其导电能力有很大不同。导电能力特别强的物质叫导体,如金、银、铜、铝等金属材料都是很好的导体。导电能力非常差,几乎可以看成不导电的物质叫绝缘体,如橡胶、陶瓷等。而导电能力在导体与绝缘体之间的物质叫半导体,常用的半导体材料有锗、硅、硒及许多金属氧化物和硫化物等。

物质导电能力的大小与物质内部的原子结构和能够运载电荷的粒子(称为载流子)的多少有关。物质内部载流子愈多、导电能力愈强。大家知道,物质都是由原子构成的,而原子又是由一个带正电的原子核与若干个带负电的电子所组成。

电子分几层围绕原子核作不停的旋转，其中内层电子受原子核的束缚力较大，而外层电子受原子核的束缚力较小。

对于半导体材料来说，原子结构比较特殊，其原子结构外层电子既不像导体的外层电子那样容易脱离原子核的束缚，也不像绝缘体的外层电子那样被原子核束缚得很紧，这就决定了它的导电能力介于导体和绝缘体之间。

半导体之所以得到广泛应用，并不是因为它的导电能力介于导体与绝缘体之间，而是由于它具有一些独特的导电性能。温度升降、有无光照及是否掺杂等外界条件，都能引起半导体材料导电性能的显著变化，即半导体具有热敏、光敏、杂敏等特性。其中最引人注目的是杂敏特性：在纯净的半导体中适当掺进某些微量的杂质，它的导电能力会大大增强。利用这一特性，可制造出各种半导体器件。

制作半导体器件所用的硅和锗都是单晶体，其原子结构平面图如图 1-1 所示，它们的特点是最外层的电子都是四个，原子最外层的电子称为价电子。所以硅和锗都是四价元素。

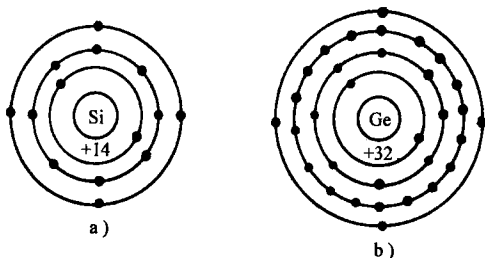


图 1-1 硅和锗的原子结构平面示意图

a) 硅(Si) b) 锗(Ge)

硅和锗都呈晶体结构，如图 1-2 所示。每个原子都要争夺四周相邻原子的四个价电子，原子和原子间通过价电子相联

组成共价键。

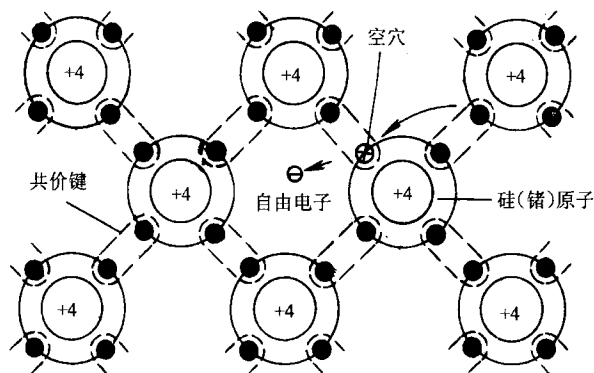


图 1-2 晶体中原子的排列

在常温下,它们中的绝大多数价电子受共价键的束缚,处于相对稳定状态。由于热运动或受光照射,其中少量电子获得足够能量,就能挣脱束缚成为自由电子,就会留下一个空位,称为空穴。空穴的出现,是半导体区别于导体的一个重要特征。脱离共价键的自由电子带负电,形成带负电的载流子;空穴由于失去电子而带正电,形成带正电的载流子。此时在外电场作用下,电子逆着电场方向移动形成电子流,而空穴将沿着电场方向移动形成空穴流。由图 1-3 看出,半导体中形成的电流由两部分组成,即自由电子流和空穴流。前者称为电子导电方式,后者叫作空穴导电方式。

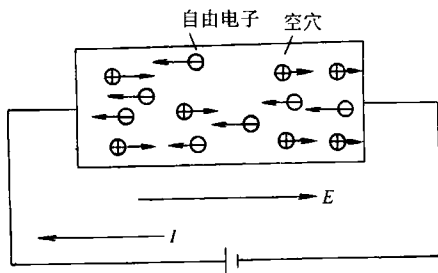


图 1-3 半导体的导电方式

纯净半导体中，自由电子和空穴总是成对出现，称为电子-空穴对。电子和空穴也会重新结合，称为复合。在一定温度下，纯净半导体产生的电子-空穴对很少，所以导电能力很差。当环境温度升高时，其电子-空穴对的数目显著增加，导电能力明显提高，这就是半导体的导电性随温度而变化的原因。

二、N 型半导体和 P 型半导体

利用半导体掺杂特性，可以有控制、有选择地掺入微量有用的杂质，制成具有特定导电性的半导体。按掺入杂质的性质不同，可分为电子型半导体和空穴型半导体。

1. N 型半导体 现代电子技术用得最多的半导体材料是硅和锗。在不含杂质的半导体硅或锗中，掺入少量五价元素磷后，则一个磷原子的五个价电子同相邻四个硅或锗原子结成共价键，还多余一个电子，这个电子受原子核束缚较小，很容易成为自由电子。于是半导体中的自由电子增多，显著提高了它的导电能力。因为这种半导体的主要导电方式是电子导电，故称之为电子半导体或 N 型半导体。在 N 型半导体中，自由电子是多数载流子，故称为多子；空穴是少数载流子，故称为少子。如图 1-4a 所示。

2. P 型半导体 若在不含杂质的半导体硅或锗中，掺入少量三价元素硼后(如图 1-4b 所示)，则一个硼原子的 3 个价电子同相邻四个硅或锗原子结成共价键，其中一个键上缺少一个电子，于是形成一个空穴，使得周围共价键上的电子很容易移到这里来。这样，掺入硼的硅或锗晶体中产生大量的空穴，即半导体中空穴多，自由电子少，其主要导电方式是空穴导电，因此称之为空穴型半导体或 P 型半导体，它与 N 型半导体相反，空穴是多数载流子，电子是少数载流子。

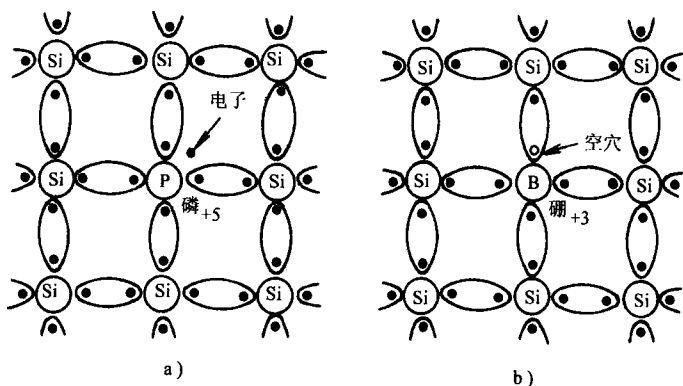


图 1-4 掺杂质后的半导体

a) 锗中掺磷形成自由电子 b) 硅中掺硼形成空穴

应当注意的是，不论是 N 型还是 P 型半导体，尽管它们中出现了大量可运动的电子或空穴，但总的正负电荷量相等，故整个晶体仍然呈中性。

三、PN 结的形成及其单向导电性

一块 P 型半导体或 N 型半导体虽然已有较强的导电能力，但若将它接入电路中，则只能起电阻作用，无多大实用价值。如果把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体结合在一起，它们的结合处就会形成一个特殊的接触面，称为 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础，PN 结的作用使半导体获得广泛应用。

1. PN 结的形成 在一整块单晶体中，采取一定的工艺措施，使其两边掺入不同的杂质，一边形成 P 型区，另一边形成 N 型区。由于两侧载流子浓度上的差异，电子和空穴都要从浓度高的地方向浓度低的地方扩散，如图 1-5a 所示。扩散的结果是在分界处附近的 P 区薄层内留下一些负离子，N

区薄层内留下一些正离子。于是，分界处两侧就出现了一个空间电荷区：P 型侧的薄层带负电，N 型侧的薄层带正电，形成了一个方向由 N 区指向 P 区的内电场，如图 1-5b 所示。内电场的作用是阻碍多子的扩散，故也称空间电荷区为阻挡层。但内电场却有助于少子的漂移运动。为区别由浓度差造成的多子扩散运动，把在内电场的作用下的少子的定向运动称作漂移运动。因此，N 区空穴向 P 区漂移，P 区的电子向 N 区漂移，其结果使空间电荷区变窄，内电场消弱，这又将引起多子扩散以增强内电场。当达到动态平衡时，即多子扩散电流等于少子的漂移电流，且二者方向相反，空间电荷区就相对稳定，形成 PN 结。此时，PN 结中的电流为零，故又称其为耗尽层。

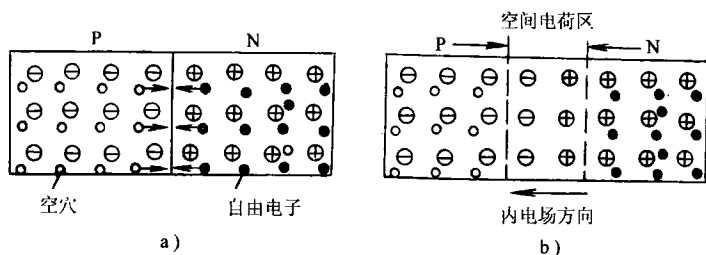


图 1-5 PN 结的形成

2. PN 结的单向导电性 如果在 PN 结上加正向电压（也称正向偏置），即 P 区接电源正极，N 区接电源负极，如图 1-6a 所示，则这时电源 E 产生的外电场与 PN 结的内电场方向相反，内电场被削弱，使阻挡层变薄。于是多子的扩散运动增强，漂移运动减弱，多子在外电场的作用下顺利通过阻挡层，形成较大的扩散电流——正向电流。此时 PN 结的正向电阻很小，处于正向导通状态。正向导通时，外部电源不