

中等职业技术教育规划教材

于 平 主编

电子技术基础

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 编
机 电 专 业 委 员 会



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业技术教育规划教材

电子技术基础

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 编
机电专业委员会
主编 于 平



机械工业出版社

本书为适应中等职业学校机电类专业教学改革需要而编写的,是电气维修专业的技术理论课教材。主要内容有:二极管和晶体管、晶体管放大电路、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、数字电路基础及逻辑代数等。

本教材可供技工学校、中等职业技术学校使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/于平主编. —北京:机械工业出版社, 2004.6

中等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-14567-4

I. 电... II. 于... III. 电子技术—专业学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第050906号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:荆宏智

责任编辑:王振国 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版·第1次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·9.75印张·257千字

定价:18.00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)68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

“中等职业技术教育规划教材”

编审委员会名单

主 任 郝广发

副 主 任 周学奎 刘亚琴 李超群 何阳春 林爱平 李长江
付 捷 单渭水 王兆山 张仲民

委 员 (按姓氏笔画排序)

于 平 王 珂 王 军 王洪琳 付元胜 付志达
刘大力(常务) 刘家保 许炳鑫 孙国庆 李木杰
李稳贤 李鸿仁 李 涛 何月秋 杨柳青(常务)
杨耀双 杨君伟 张跃英 林 青 周建惠 赵杰士
(常务) 郝晶卉 荆宏智(常务) 贾恒旦 黄国雄
董桂桥(常务) 曾立星 甄国令

本书主编 于 平

参 编 周瑞华 魏冬梅

本书主审 林爱平

前 言

为贯彻落实“全国职业教育工作会议”精神，克服原有的教材专业设置落后，缺乏新的专业和复合专业，技术内容比较陈旧，理论课内容偏深、偏难的弊端，更好地满足中等职业技术教育教学改革的需要，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织编写了这套适合新形势的中等职业技术教育规划教材。首批所选五个专业为机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修。本套教材的编写指导思想是：贯彻党的教育方针，依据《劳动法》、《职业教育法》的规定和《国家职业标准》的要求，更新教学内容，突出技能训练，强化创新能力的培养，以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才，使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场的需要。其宗旨是：促职业教育改革，助技能人才培养。

为实现这一宗旨，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织了 30 多所高、中级技工学校参加了首批五个专业教学计划、教学大纲的制定和教材的编审工作。各学校对新教材的专业选择、课程设置、学时安排、教学计划和教学大纲的制定、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》相关工种中级工的要求和各校实际，经过三次会议进行了广泛的讨论和充分论证，首先完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作。在教材的编写过程中，贯彻了“简明、实用、够用”的原则，反映了新知识、新技术、新工艺和新方法，体现了科学性、实用性、代表性和先进性，正确处理了理论知识与技能的关系。同时通过对原有教材进行评价，针对其不足并在编写过程中进行了改进，以充分反映学校

的实际需要。新教材的价值在于兼顾了学生学习真本领与达到职业技能鉴定考试两种要求。综上所述,本套教材具有以下特色:

1) 职业性 专业设置参照有关专业目录,并根据职业发展变化和社会实际需求确定。

2) 科学性 教学内容与现代科学技术发展和先进技术装备、技术水平相适应,体现了科学性和先进性。

3) 实践性 重视实践性教学环节,加强了技能训练和生产实习教学,努力实现产教结合。

4) 衔接性 与企业培训和其他类型教育相沟通,与国家职业资格证书体系相衔接。

5) 实用性 教学内容符合职业标准及企业生产实际需要,有利于培养实用型人才。

与本教材配套的还有相应教材的习题集。

本套教材的编写工作得到了各学校领导的重视和支持,参加教材编审的人员均为各校的教学骨干,保证了本套教材能够按计划有序地进行,并为编好教材提供了良好的技术保证,在此对各个学校的支持表示感谢。

本书的具体编写分工如下:第一章~第三章由于平编写,第四、五、九、十章由周瑞华编写,第六章~第八章由魏冬梅编写。全书由于平主编,由林爱平主审。

由于时间和编者水平有限,书中难免存在某些缺点或错误,敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

目 录

前言

第一章 晶体二极管和晶体管	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 二极管	7
第三节 晶体管	12
第四节 场效应晶体管	21
本章小结	27
复习思考题	28
第二章 晶体管放大电路	30
第一节 放大器的基本概念	30
第二节 放大器参数的分析方法	35
第三节 稳定静态工作点的偏置电路	41
第四节 放大器中的负反馈	45
第五节 多级放大器	54
第六节 放大器的三种基本电路	60
第七节 功率放大器	62
本章小结	75
复习思考题	75
第三章 晶体管正弦波振荡电路	78
第一节 正弦波振荡电路的基本原理	78
第二节 LC 振荡器	81
本章小结	87

复习思考题	87
第四章 直流放大电路	88
第一节 直流放大器	88
第二节 零点漂移	90
第三节 差动式直流放大器	93
本章小结	102
复习思考题	102
第五章 集成运算放大器	104
第一节 线性集成电路简介	104
第二节 运算放大器的基本分析方法	107
第三节 集成运算放大器应用简介	111
第四节 运算放大器应用举例	116
本章小结	121
复习思考题	121
第六章 整流与稳压电路	124
第一节 单相整流电路	124
第二节 滤波电路	131
第三节 硅稳压管及其稳压电路	136
第四节 晶体管串联型稳压电路	139
本章小结	145
复习思考题	146
第七章 数字电路基础	147
第一节 二极管与晶体管的开关特性	148
第二节 基本逻辑门电路	151
第三节 数字集成电路简介	160
本章小结	169

复习思考题	170
第八章 逻辑代数	172
第一节 逻辑运算	172
第二节 逻辑函数	176
第三节 逻辑表达式的化简	180
第四节 逻辑代数的应用举例	189
本章小结	193
复习思考题	194
第九章 基本数字部件	196
第一节 触发器	196
第二节 计数器	201
第三节 寄存器	208
第四节 数字显示电路	213
本章小结	223
复习思考题	223
第十章 晶闸管及其应用	226
第一节 晶闸管简介	226
第二节 晶闸管触发电路	235
第三节 晶闸管整流电路	245
第四节 快速晶闸管和双向晶闸管	255
本章小结	260
复习思考题	262
实验一 低频小信号电压放大器	264
实验二 直流放大器	267
实验三 串联型稳压电路	269
实验四 门电路逻辑功能的测试	271
实验五 集成运算放大器的主要应用	272

实验六	可控硅特性测试	274
实验七	集成触发器逻辑功能的测试	276
实验八	异步二进制计数器	278
附录		281
附录 A	晶体管的型号	281
附录 B	常用晶体二极管参数	282
附录 C	常用晶体管参数	289

实验六	可控硅特性测试	274
实验七	集成触发器逻辑功能的测试	276
实验八	异步二进制计数器	278
附录		281
附录 A	晶体管的型号	281
附录 B	常用晶体二极管参数	282
附录 C	常用晶体管参数	289

第一章 晶体二极管和晶体管

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中都得到了广泛应用。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的认识。

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。而导电能力介于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、有无光照及是否掺加杂质等外界条件，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，可以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。

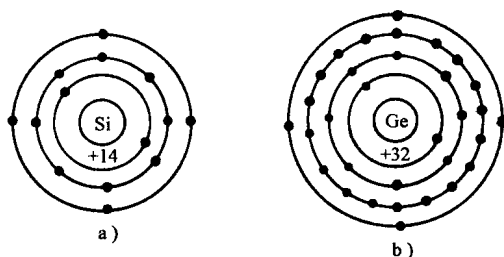


图 1-1 硅和锗的原子结构平面示意图

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连组成共价键。

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，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

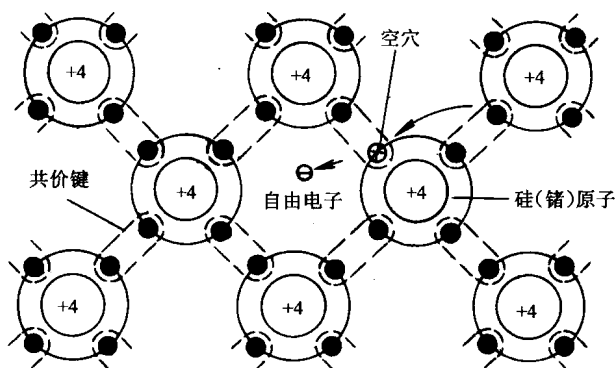


图 1-2 晶体中原子的排列

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。

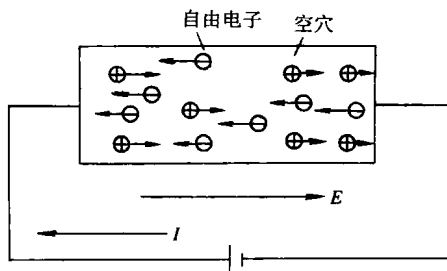


图 1-3 半导体的导电方式

纯净半导体中，自由电子和空穴总是成对出现的，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，纯净半导体中产生的电子-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能的半导体。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，故称之为电子型半导体或 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。

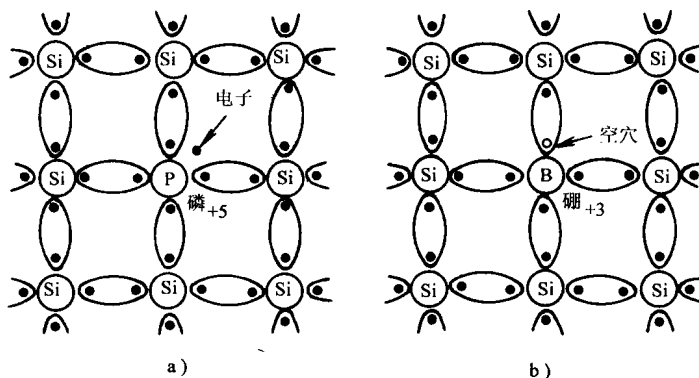


图 1-4 掺杂质后的半导体

a) 锗中掺磷形成自由电子 b) 硅中掺硼形成空穴

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），则一个硼原子的三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，在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。

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，在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了广泛的应用。

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。由于两侧载流子在浓度上存在差异，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，故也把空间电荷区称为阻挡层。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，内电场削弱，这又将引起多子扩散以增强内电场。当达到动态平衡时，即多子的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。

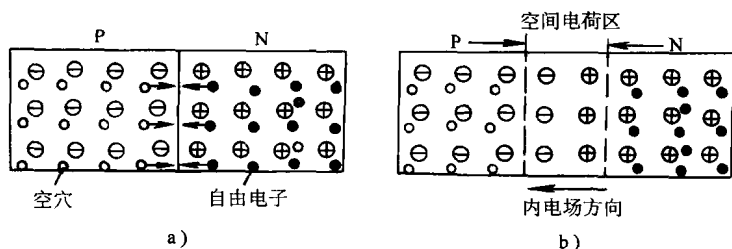


图 1-5 PN 结的形成

a) 载流子的扩散 b) 空间电荷区的形成

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，外部电源不断向半导体供给电荷，使电流得以维持。

如果给 PN 结加反向电压（又称反向偏置），即 N 区接电源正极，P 区接电源负极，如图 1-6b 所示，则这时外电场与

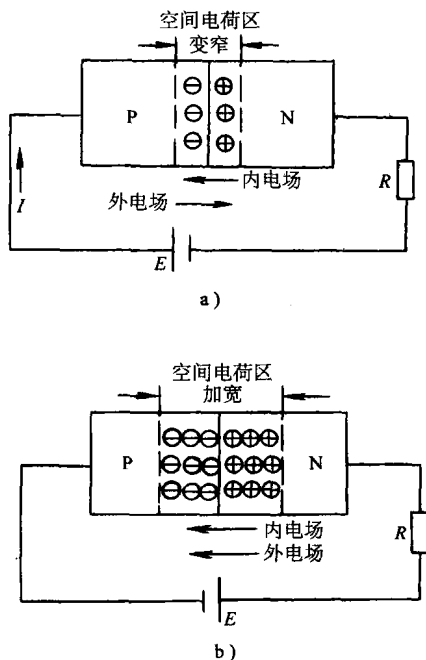


图 1-6 PN 结的单向导电性

a) 加正向电压 b) 加反向电压