



湖北高职“十一五”规划教材

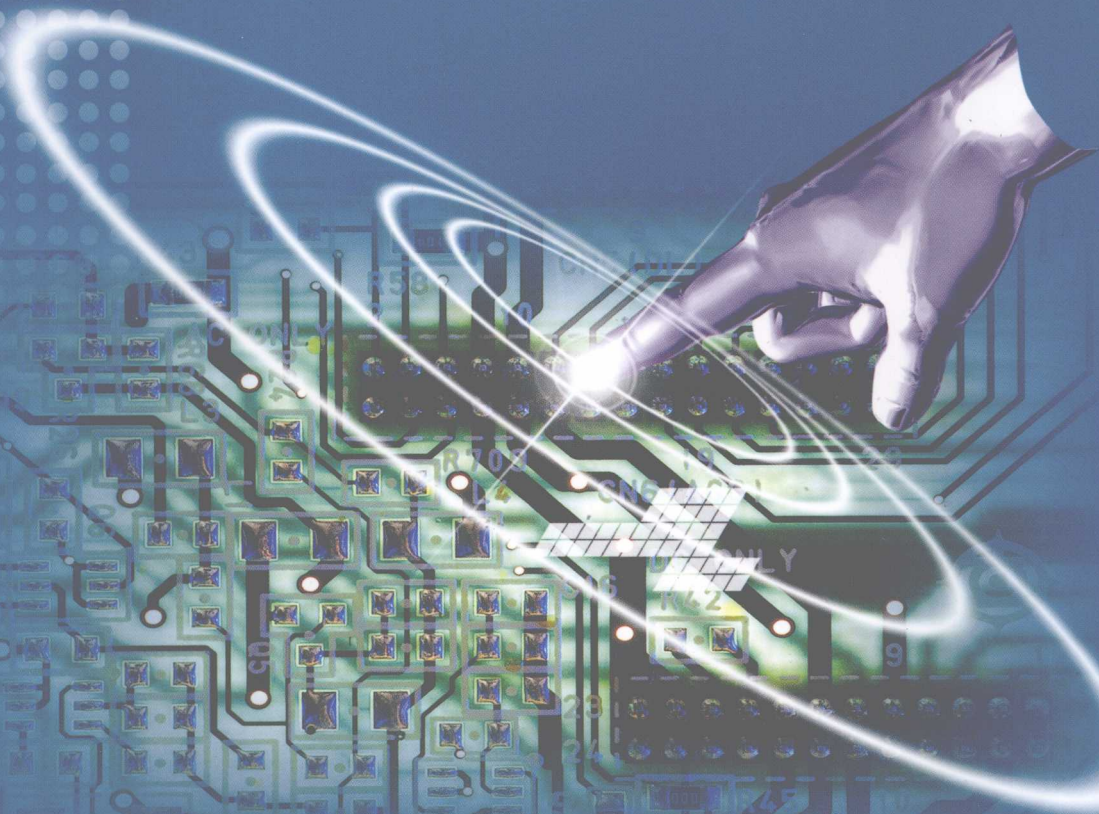
HUBEI GAOZHI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

湖北省高等教育学会高职专委会研制

模拟电子技术

MONI DIANZI JISHU

池雪莲 邓宽林 主编



湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

总策划 李友玉

策划 屠莲芳

模拟电子技术

主 编 池雪莲 邓宽林
副主编 刘 威 夏继军 彭 莉

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/池雪莲,邓宽林主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2008.1
湖北高职“十一五”规划教材
ISBN 978—7—5352—3928—0

I. 模… II. 池… III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008186 号

湖北高职“十一五”规划教材
模拟电子技术

©池雪莲 邓宽林主编

责任编辑:李海宁

封面设计:喻 杨

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号
湖北出版文化城 B 座 12—14 层

邮编:430070

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

邮编:430223

787 毫米×1092 毫米
2008 年 2 月第 1 版

16 开 印张 15.25 325 千字
2008 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—5352—3928—0

定价:28.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换



湖北高职“十一五”规划教材(机电类)

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

总策划 李友玉 策划 屠莲芳

编委会

主任 徐国洪 仙桃职业学院
李建新 武汉软件工程职业学院

副主任 (以下按姓氏笔画排列)

王 臻 武汉职业技术学院
牟应华 恩施职业技术学院
沈鸿星 襄樊职业技术学院
黄国祥 黄冈职业技术学院

委 员

丁如春 鄂东职业技术学院
王 川 武汉职业技术学院
王 彦 武汉铁路职业技术学院
王 臻 武汉职业技术学院
王中林 武汉软件工程职业学院
邓宽林 十堰职业技术学院
刘 芬 荆州职业技术学院
朱 立 武汉商业服务学院
牟应华 恩施职业技术学院
吴 涛 咸宁职业技术学院
李建新 武汉软件工程职业学院
杨 凡 武汉交通职业学院
沈鸿星 襄樊职业技术学院
郑德龙 武汉电力职业技术学院
钟 立 湖北国土资源职业学院
徐国洪 仙桃职业学院
郭和伟 湖北职业技术学院
黄国祥 黄冈职业技术学院

编委会秘书

吕 刚 吴晓红

凝聚集体智慧 研制优质教材

教材是教师教学的脚本,是学生学习的课本,是学校实现人才培养目标的载体。优秀教师研制优质教材,优质教材造就优秀教师,培育优秀学生。教材建设是学校教学最基本的建设,是提高教育教学质量最基础性的工作。

高职教育是中国特色的创举。我国创办高职教育时间不长,高职教材存在严重的“先天不足”,如中专延伸版、专科移植版、本科压缩版等。这在很大程度上制约着高职教育教学质量的提高。因此,根据高职教育培养“高素质技能型专门人才”的目标和教育教学实际需求,研制优质教材,势在必行。

2005 年以来,湖北省高教学会高职高专教育管理专业委员会(简称“高职专委会”)高瞻远瞩,审时度势,深刻领会国家关于“大力发展职业教育”和“提高高等教育质量”之精神,准确把握高职教育发展之趋势,积极呼应全省高职院校发展之共同追求;大倡研究之风,大鼓合作之气;组织全省高职院校开展“教师队伍建设、专业建设、课程建设、教材建设”(简称“四个建设”)的合作研究与交流。旨在推进全省高职院校进一步全面贯彻党的教育方针,创新教育思想,以服务为宗旨,以就业为导向,工学结合、校企合作,走产学结合发展道路;推进高职院校培育特色专业、打造精品课程、研制优质教材、培养高素质的教师队伍,提升学校整体办学实力与核心竞争力;促进全省高职院校走内涵发展道路,全面提高教育教学质量。

湖北省教育厅将高职专委会“四个建设”系列课题列为“湖北省教育科学‘十一五’规划专项资助重点课题”。全省高职院校纷纷响应,几千名骨干教师和一批生产、建设、服务、管理一线的专家,一起参加课题协同攻关。在科学研究过程中,坚持平等合作,相互交流;坚持研训结合,相互促进;坚持课题合作研究与教材合作研制有机结合,用新思想新理念指导教材研制,塑造教材“新、特、活、实、精”的优良品质;坚持以学生为本,精心酿造学生成长的精神食粮。全省高职院校重学习研究,重合作创新蔚然成风。

这种以学会为平台,以学术研究为基础开展的“四个建设”,符合教育部关于提高教育教学质量的精神,符合高职院校发展的需求,符合高职教师发展的需求。

在湖北省教育厅和湖北省高教学会领导的大力支持下,在湖北省高教学会秘书处的指导下,经过两年多艰苦不懈的努力和深入细致的工作,“四个建设”合作研究初见成效。湖北省高职专委会与湖北长江出版传媒集团、武汉大学出版社、复旦大学出版社等知名出版单位携手,正陆续推出课题研究成果:“湖北高职‘十一五’规划教材”,这是全省高职集体智慧的结晶。

交流出水平,研究出智慧,合作出成果,锤炼出精品。凝聚集体智慧,共创湖北高职教育品牌——这是全省高职教育工作者的共同心声!

湖北省高教学会高职专委会主任 黄木生

2008年1月

前言

要 容 内

本教材是湖北高职“十一五”规划教材,是在湖北省教育厅立项的湖北省教育科学

“十一五”规划专项资助重点课题《高职应用电子专业课程体系与标准研究》(高职“四个建设”系列规划课题)的成果基础上合作研制而成的。

本教材力求体现“以能力为本位,以实践为主线、以应用为重点”的新理念。在教材内容的选择上,遵循“实用、有效、够用”的原则;在内容呈现上进行了创新,采用图文并茂的形式,配有大量的结构图、工程图、数据表、曲线等,并穿插有小知识、小技能、应用实例等,增强了内容的直观性和趣味性,有利于学生学习。

湖北省高等教育学会副秘书长、湖北省教育科学研究所高教研究中心主任李友玉研究员,湖北省高等教育学会高职高专教育管理专业委员会教学组组长李家瑞教授、秘书长屠莲芳,负责本教材研制队伍的组建、管理和本教材研制标准、研制计划的制定与实施。

本书由池雪莲、邓宽林担任主编,池雪莲负责全书的规划、组织、审稿和统稿,邓宽林、刘威、夏继军、彭莉参与了统稿工作。仙桃职业学院徐国洪副教授、黄冈职业技术学院黄国祥副教授任主审,印成清、胡华文、张汉飞、雷红华参与了审稿,提出了许多宝贵意见,对此表示衷心的感谢。

参加合作研制的院校与人员有:襄樊职业技术学院池雪莲(前言、第1章、第2章、第6章),十堰职业技术学院邓宽林(第5章、第7章),襄樊职业技术学院刘威(第8章、第10章),黄冈职业技术学院夏继军(第4章),仙桃职业学院彭莉(第3章),襄樊职业技术学院贾海云(第6章、附录),十堰职业技术学院徐瑛(第9章)。恩施职业技术学院的刘家国、随州职业技术学院的夏章建等参加了习题的编写。

由于编者水平有限且时间仓促,定有疏漏、欠妥和错误之处,恳请大家批评指正。

本教材参考了许多文献和成果,谨对原作者一并表示深深的谢意。

湖北高职“十一五”规划教材
《模拟电子技术》研制组
2008年1月

内 容 提 要

本书是根据高等职业技术教学的新要求,在湖北省教育厅、湖北省高教学会的具体指导下编写的,系湖北高职“十一五”规划教材。编写的原则是以职业为导向,以学生为主体,以必须、够用为度。取材突出了基本概念、基本原理和基本分析方法,以强化应用和技能为主,尽量做到具有新颖性、趣味性、实用性和可读性。

全书共分十章。即半导体二极管及其应用电路分析、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、多级放大电路、直流稳压电源、集成运算放大器、功率放大电路、负反馈放大电路、正弦波振荡电路、集成运算放大器基本应用电路。各章均配有练习题供学生练习。

本书可作为高等职业技术学院、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校,高等学校专科,职工大学电子、信息、电气及机电一体化等专业课程的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

林楚斌编“五一十”规划教材

出版《电子技术基础》

目 1 号 8005

目 录

第一章 半导体二极管及其应用电路分析	(1)
第一节 半导体基础知识	(1)
一、半导体概念	(1)
二、N型半导体和P型半导体	(2)
三、PN结及其特性	(2)
第二节 半导体二极管	(4)
一、二极管的结构、符号	(4)
二、二极管的伏安特性	(5)
三、二极管的主要参数	(7)
四、半导体二极管电路的模型分析法	(8)
五、二极管的识别与使用注意事项	(11)
第三节 半导体二极管的应用	(12)
一、整流电路	(12)
二、限幅电路	(18)
三、钳位电路	(18)
第四节 特殊二极管	(19)
一、硅稳压二极管	(19)
二、光电二极管(光敏二极管)	(22)
三、发光二极管	(23)
四、变容二极管	(24)
本章小结	(25)
练习题	(25)
第二章 半导体三极管及其放大电路	(28)
第一节 半导体三极管	(28)
一、半导体三极管简介	(28)
二、半导体三极管结构、符号	(28)
三、半导体三极管的命名和识别方法	(29)
四、三极管在电路中的基本连接方式(组态)	(31)
五、三极管的放大和电流控制作用	(32)
六、三极管特性曲线	(33)
七、三极管的主要参数	(35)

第二节 共发射极放大电路	(38)
一、共发射极放大电路的组成和工作原理	(38)
二、共发射极放大电路的工作状态和分析方法	(39)
第三节 工作点稳定的放大电路的分析	(48)
一、分压式偏置放大电路稳定工作点的原理	(48)
二、静态分析	(49)
三、动态分析	(50)
第四节 共集电极放大电路	(51)
一、静态分析	(51)
二、动态分析	(52)
第五节 共基极放大电路	(55)
一、静态分析	(55)
二、动态分析	(55)
第六节 三种组态的基本放大电路的比较	(56)
本章小结	(57)
练习题	(57)
第三章 场效应管及其放大电路	(61)
第一节 结型场效应管	(61)
一、JFET 的结构与符号	(61)
二、JFET 的工作原理与特性曲线	(62)
第二节 绝缘栅型场效应管	(66)
一、N 沟道增强型 MOSFET	(66)
二、N 沟道耗尽型 MOSFET	(69)
三、P 沟道 MOSFET	(71)
第三节 场效应管的主要参数及其使用注意事项	(72)
一、场效应管的主要参数	(72)
二、使用场效应管的注意事项	(72)
第四节 场效应管与三极管的比较	(73)
第五节 场效应管基本放大电路	(74)
一、场效应管基本放大电路的组成	(74)
二、场效应管基本放大电路的分析	(75)
三、共漏极基本放大电路	(77)
本章小结	(78)
练习题	(78)
第四章 多级放大电路	(82)
第一节 多级放大电路的构成	(82)
一、多级放大电路的组成	(82)

二、多级放大电路的耦合方式	(82)
第二节 多级放大电路的动态分析	(87)
第三节 多级放大电路的频率响应定性分析	(91)
本章小结	(93)
练习题	(94)
第五章 直流稳压电源	(97)
第一节 直流稳压电源基本知识	(97)
一、直流稳压电源	(98)
二、稳压电源的主要技术指标	(98)
第二节 并联型稳压电路	(99)
一、并联稳压电路组成	(99)
二、稳压原理	(99)
三、元件选择	(100)
四、应用举例	(100)
第三节 串联型稳压电路	(101)
一、串联反馈型稳压电路组成和工作原理	(101)
二、输出电压计算	(102)
第四节 集成稳压器及应用	(105)
一、三端集成稳压器的分类	(105)
二、三端固定式集成稳压器外形、管脚排列及意义	(105)
三、三端固定式集成稳压器的应用	(106)
四、三端可调式集成稳压器	(108)
第五节 开关稳压电源简介	(111)
一、开关稳压电源结构框图	(111)
二、开关型电路的工作原理	(112)
三、分析	(114)
第六节 稳压电路的保护措施	(115)
一、分立元件稳压电路的保护电路	(115)
二、集成电路常用的保护电路	(116)
本章小结	(119)
练习题	(120)
第六章 集成运算放大器	(124)
第一节 集成运算放大器器件概述	(124)
一、运算放大器的组成	(124)
二、运算放大器的符号	(125)
三、运算放大器的主要参数	(125)
四、集成运放的种类	(126)

五、集成运算放大器的理想特性	(126)
第二节 集成运放的输入级——差动放大电路	(127)
一、基本差动放大器的结构与抑制零漂的原理	(127)
二、射极耦合差动放大器的分析	(128)
三、差动放大器接法与相位	(131)
第三节 集成运放偏置电路中的电流源电路	(134)
一、基本电流源电路	(134)
二、微电流源	(134)
三、比例电流源	(135)
第四节 集成运放参数的选择及应用时注意的问题	(136)
一、选用元件	(136)
二、消振	(136)
三、调零	(136)
四、保护	(136)
五、扩大输出电流	(137)
本章小结	(137)
练习题	(138)
第七章 功率放大电路	(140)
第一节 基本知识	(140)
一、特点和要求	(140)
二、功率放大电路的类型	(141)
第二节 互补对称功率放大电路	(141)
一、乙类互补对称功率放大电路	(141)
二、OCL 电路的工作原理	(143)
三、性能分析与计算	(144)
四、OTL 乙类互补对称功率放大电路(Output Transformer Less)	(146)
五、甲乙类互补对称输出级	(147)
六、功放管选择示例	(147)
第三节 实用互补对称功率放大电路举例	(148)
一、复合管(达林顿管)	(148)
二、BTL(Balanced Transformer Less)电路	(151)
第四节 集成功率放大电路及应用	(152)
一、5G31 集成功率放大器	(152)
二、LM386 集成功率放大器及其应用	(154)
三、集成功率放大电路构成 BTL	(155)
第五节 功率放大电路的散热问题	(157)
一、功放管的安全使用	(157)

二、晶体管的散热	(158)
三、散热设计示例	(160)
本章小结	(162)
练习题	(163)
第八章 负反馈放大电路	(168)
第一节 反馈的基本概念	(168)
一、反馈的含义	(168)
二、反馈的基本形式	(168)
第二节 放大电路中交流负反馈的基本类型	(171)
一、交流负反馈的四种类型和判断方法	(171)
二、四种类型的负反馈放大电路	(172)
第三节 负反馈放大电路的方框图及一般表达式	(175)
一、负反馈放大电路的方框图	(175)
二、负反馈放大电路的一般表达式	(176)
第四节 负反馈对放大电路性能的影响	(177)
一、提高放大倍数的稳定性	(177)
二、改变输入电阻和输出电阻	(178)
三、展宽频带	(179)
四、减小非线性失真	(179)
第五节 深度负反馈放大电路的计算	(181)
一、电压串联负反馈放大电路	(181)
二、电压并联负反馈	(182)
三、电流串联负反馈	(183)
四、电流并联负反馈	(183)
第六节 负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	(183)
一、产生自激振荡的条件和原因	(184)
二、自激振荡的判断	(184)
三、消除自激振荡的方法	(184)
本章小结	(185)
练习题	(186)
第九章 正弦波振荡电路	(190)
第一节 正弦波振荡电路的产生与分析	(190)
一、振荡的概念	(190)
二、产生正弦振荡的条件	(190)
第二节 RC 正弦波振荡电路	(194)
一、RC 串并网络的选频特性	(194)
二、RC 桥式振荡电路	(196)

三、RC 移相式振荡电路	(197)
第三节 LC 正弦波振荡电路	(197)
一、变压器反馈式 LC 振荡电路	(197)
二、三点式振荡电路	(199)
第四节 正弦波振荡电路应用举例	(202)
一、定额调幅式电路	(202)
二、变频调幅式电路	(202)
本章小结	(203)
练习题	(203)
第十章 集成运算放大器基本应用电路	(207)
第一节 集成运算放大器线性应用——模拟运算	(207)
一、加减运算电路	(207)
二、积分与微分电路	(209)
第二节 有源滤波器	(210)
一、基本概念	(210)
二、低通滤波器	(212)
三、高通滤波器	(213)
四、带通滤波器	(213)
五、带阻滤波器	(214)
本章小结	(215)
练习题	(215)
附录一 部分电气图形符号	(219)
附录二 常用电子元器件型号命名法	(221)
参考文献	(225)

第一章 半导体二极管及其应用电路分析

本章首先介绍了半导体基础知识,在此基础上重点讲解了半导体二极管的伏安特性、二极管电路的基本分析方法以及实际应用,最后对一些特殊二极管也进行了介绍说明。

第一节 半导体基础知识

一、半导体概念

在自然界,物质按其导电性可分为导体、半导体和绝缘体。其中导电性能很强的,如铜、铝、铁等称为导体。另一些物质诸如橡皮、胶木、瓷制品等不能导电,我们称之为绝缘体。还有一些物质,如硅、硒、锗、镉、砷化镓以及很多矿石、化合物、硫化物等,它们的导电性能介于金属导体和绝缘体之间,我们称之为半导体。纯净不掺杂质的半导体称为本征半导体。

在电子器件中,用得最多的半导体材料是硅和锗,下面以硅为例对半导体的导电特性进行分析。硅是四价元素,最外层原子轨道上具有4个电子,称为价电子。每个原子的4个价电子不仅受自身原子核的束缚,而且还与周围相邻的4个原子发生联系,这些价电子一方面围绕自身的原子核运动,另一方面也时常出现在相邻原子所属的轨道上。这样,相邻的原子就被共有的价电子联系在一起,称为共价键结构。如图1-1所示。

由于共价键的存在,使本征半导体中不像导体那样有大量的自由移动的电荷,但当温度升高或受光照时,因为半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中束缚得那样紧,价电子从外界获得一定的能量,少数价电子会挣脱共价键的束缚,成为自由电子,同时在原来共价键的相应位置上留下一个空位,这个空位称为空穴,如图1-2所示。自由电子和空穴是成对出现的,称它们为电子空穴对。在本征半导体中,电子与空穴的数量总是相等的。

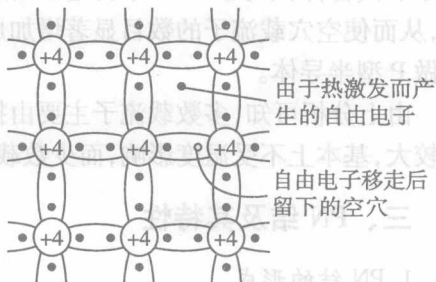
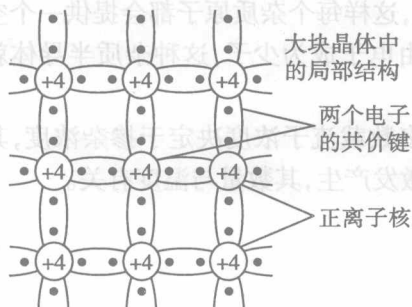


图1-1 硅晶体的共价键结构

图1-2 本征激发产生的电子空穴对

由于共价键中出现了空位,使失去一个价电子的原子成为带正电荷不能移动的离子。在外电场或其他能源的作用下,邻近的价电子就可填补到这个空位上,而在这个价电子原来的位置上又留下新的空位,以后其他价电子又可转移到这个新的空位上,其效果如同带正电荷的空位(空穴)在移动,我们把这种价电子的填补运动称为空穴运动,认为空穴是一种带正电荷的载流子,它所带电荷和电子相等,符号相反。由此可见,本征半导体中存在两种载流子:电子和空穴。

当半导体加上电压时,其电流由两部分组成,一是自由电子定向运动形成的电流;二是价电子递补空位形成的电流,其方向与自由电子电流相反。

由于热运动,使本征半导体不断产生自由电子,同时也出现相同数量的空穴,另一方面自由电子在运动中又会与空穴重新结合(复合),这是一种相反过程。在一定温度下,电子—空穴既产生又复合,达到相对的动态平衡。从宏观上本征半导体内自由电子和空穴的浓度保持定值并且相等。但是这个定值与温度有关,当温度发生变化时,即在新的动态平衡状态下,保持新的定值。

二、N 型半导体和 P 型半导体

本征半导体中虽然同时存在自由电子和空穴两种载流子,但数量少,导电能力较差,导电率也难以按需要人为控制。若在本征半导体材料中掺入很微量的某种杂质元素,会使其导电性极大地增加,并且随着杂质元素掺入量的不同,导电能力也能够加以控制,这种半导体称为杂质半导体。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

在本征半导体(如硅或锗)晶体中通过一定的制造工艺,掺入微量的五价元素(如磷),硅晶体中某些位置的原子被磷原子代替,由于多余的一个价电子不受共价键束缚,只要获得很少能量,这个多余的电子就能挣脱磷原子核的吸引而成为自由电子,所以使杂质半导体中自由电子数目大大增加,导电性能增强,这种杂质半导体就叫做 N 型半导体。在 N 型半导体中自由电子为多数载流子(多子)。由于晶体受热本身也产生少量的电子—空穴对,因此 N 型半导体中也有少数空穴,只是它是少数载流子(少子)。

2. P 型半导体

若在本征半导体硅中掺入的是微量的三价元素(如硼),硅晶体中某些位置的原子被硼原子代替,由于缺少了一个价电子而产生一个空穴,这样每个杂质原子都会提供一个空穴,从而使空穴载流子的数目显著增加成为多子,自由电子成为少子,这种杂质半导体就叫做 P 型半导体。

由上分析可知,多数载流子主要由掺杂产生,故多数载流子浓度决定于掺杂浓度,其值较大,基本上不受温度影响,而少数载流子由本征激发产生,其数量与温度有关。

三、PN 结及其特性

1. PN 结的形成

将 P 型半导体和 N 型半导体通过特殊的工艺结合在一起,则在这两种半导体的界面会出现一个极薄的特殊层(大约只有几个微米),这个薄层就是 PN 结。PN 结是构成各

种半导体器件的基础,因此了解 PN 结对掌握半导体器件原理非常重要,那么 PN 结是如何形成的呢?

如图 1-3 所示,当 P 型半导体和 N 型半导体紧密结合后,在它们的交界面上,出现了电子和空穴的浓度差别,从而首先在交界处引起了电子和空穴多数载流子的扩散运动,扩散到 P 区的电子和空穴复合,扩散到 N 区的空穴与电子复合,结果使得 P 区和 N 区交界面附近原来保持的电中性被破坏,P 区中空穴大量减少,出现了带负电的不能移动的离子区,在 N 区一侧因缺少电子而出现带正电的不能移动的离子区,它们形成了一个从 N 区指向 P 区的内电场,这个电场空间区称为 PN 结,在这个空间电荷区内,多数载流子由于扩散复合,已经被耗尽,所以也称为“耗尽层”。

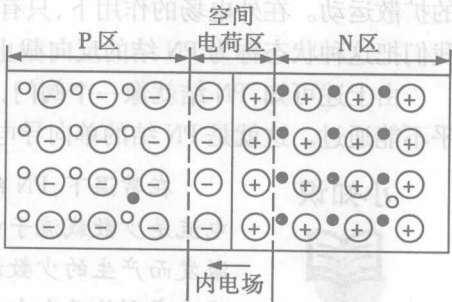


图 1-3 PN 结的形成

内电场是阻碍多数载流子扩散的,但有利于 N 区少数载流子空穴和 P 区的少数载流子电子越过空间电荷区向对方区域运动,这种载流子在电场作用下的定向运动称漂移运动。扩散运动和漂移运动是相互联系又相互矛盾的。在开始形成空间电荷区时,多数载流子的扩散运动占优势;随着扩散运动的进行,空间电荷区逐渐加宽,内电场逐渐加强,对多数载流子的扩散阻力加大,却增强了少数载流子的漂移运动;而漂移运动使空间电荷区变窄,减弱了内电场强度又使扩散运动得以进行;最终当扩散运动和漂移运动达到动态平衡时,空间电荷区的宽度便达到了稳定,形成了平衡的 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

给 PN 结加正向偏置电压,即 P 区接电源正极,N 区接电源负极,如图 1-4 所示。由于外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场方向相反,削弱了内电场,使 PN 结变薄,有利于两区多数载流子向对方扩散,使其呈现出很小的正向电阻,内部通过较大的正向电流 I 。在一定范围内,外加电压愈大,正向电流愈大,我们将这种状态称为 PN 结正向导通状态。

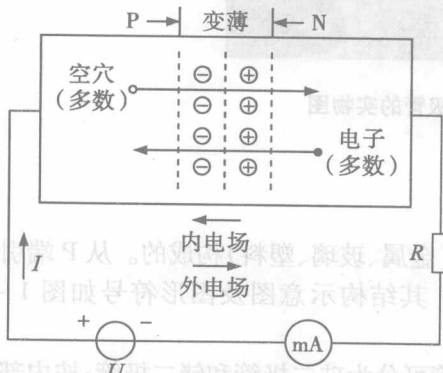


图 1-4 PN 结加正向电压

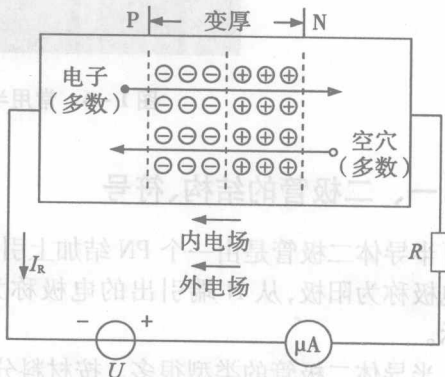


图 1-5 PN 结加反向电压