

实用机电工程系列教材



电子技术基础

● 魏汉勇 主编

华中科技大学出版社

实用机电工程系列教材

电子技术基础

DIANZI JISHU JICHU

魏汉勇 主编

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/魏汉勇 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2002年2月
ISBN 7-5609-2592-8

I. 电…
I. 魏…
Ⅲ. 电子技术-高等学校:技术学校-教材
IV. TN

电子技术基础

魏汉勇 主编

责任编辑:钟 珊
责任校对:蔡晓璐

封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社 武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室
印 刷:武汉首壹印刷厂

开本:787×1092 1/16
版次:2002年2月第1版
ISBN 7-5609-2592-8/TN·65

印张:17
印次:2002年2月第1次印刷

字数:390 000
印数:1—3 500
定价:21.50元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是机电类高职系列教材之一。主要内容有:常用半导体器件,放大电路基础,*负反馈放大电路,*功率放大电路,集成运算放大器,*正弦波振荡器,直流电源,数字逻辑电路,基本数字部件。每章配有一定数量的例题和习题,*号部分为选修内容。全书教学时数为70~90学时。

本书突出高职教育的特点,避开繁琐的公式推导,注重实际应用。可作为3年制机电类高职教材,也可供电大、职大相关专业作教材选用。

序 言

在千年钟声敲响、人类跨入新世纪之际，我们欣喜地看到，高等教育的模式正在从单一化向多样化、柔性化、社会化和现代化方向发展；正是这一发展，使得高等教育展现出蓬勃的生命力。真可谓“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”。

以信息技术为重要标志的高新科技革命的飞速发展，正在改变着世界的面貌和人类的生活方式，推动着知识经济的到来。这就给高等教育改革的探索和研究提出了更高的要求。世界经济发展中最激烈的竞争，将不仅表现在经济和生产领域，而且更表现在培养人才的教育领域，特别是高等教育领域。因为在当今，经济的竞争，科技的竞争，一切的竞争，归根结底是教育的竞争，是人才的竞争，所以，江泽民同志指出：“高等教育是教育的龙头”。随着高新科技同机械行业的结合，现代机电产品不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、计算机等有机集成的所谓“机电信息一体化”产品。因此，现代机械制造越来越多地体现着知识经济的特征，“以人为本”的新观念正在取代“以技术为本”、“以先进设备为本”的传统观念。在这种情况下，社会对机械类高素质人才的需求也随之变化，人才的创新能力、实践能力需要大力加强，知识结构需要向通用、广泛、适应性强的方向转化。

现代机电工程就是机械工程科技与信息技术等现代科技的紧密结合，然而，既是机电专业而不是别的专业，自己专业的基础、自己专业的实践是丝毫不能忽视的。“九层之台，起于垒土”，“千里之行，始于足下”，离开了基础，离开了实践，一切将会成为空洞的，机电专业就更是如此。

为顺应高等教育改革的潮流，华中科技大学出版社继推出“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”之后，又推出了这套“高等学校实用机电工程系列教材”。两套教材各有侧重，相得益彰，不同的学校可以根据自己的特点和教学要求选择不同的教材。

这套系列教材的特色在于：体现了人才培养的层次性、知识结构的交融性和教学内容的实践性。它降低了专业重心，拓宽了学科基础，对传统的课程内容进行了整合，加强各方面知识的融会贯通。特别值得一提的是，它强调实践能力的培养和基本技能的训练，以培养综合型、实用型人才为主要目标。

这套教材是20多所高校长期从事教学和教学改革教师用辛勤的汗水编写而成的，特别是一些高等职业技术学院、高等专科学校的参与，给这套教材增添了更多的色彩。教材的作者认真贯彻了“教育要面向现代化，面向世界，面向未

来”的战略思想，倾注了他们教学改革中的大量心血，反映了他们丰富的教学经验。“衷心藏之，何日忘之？”我们对参加这套教材编写的老师们和积极支持这套教材出版的学校表示衷心的感谢。我们相信，这套系列教材对各学校的教学改革、机电工程类高质量人才的培养能够起到积极的促进作用。

人非圣贤，孰能无过？书非白璧，孰能无瑕？由于编者经验不足，时间有限，形势的发展也在不断提出新的要求，因此，这套系列教材还需在使用中不断修改和完善。“嘤其鸣矣，求其友声。”我们期望广大读者不吝赐教。

江泽民同志指出：“创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。”高等教育的改革，也需要不断地创新，不断地前进。一声号角撼大地，千红万紫进军来。21世纪教育的春天，已经来临。

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员
中国科学院院士
华中科技大学教授
杨叔子

2001年3月10日

前 言

本书系机电类高职系列教材之一。主要读者对象是高等院校3年制机械类专业的学生,也适合电子类专业的学生使用(含*部分)。

本教材在编写过程中注重高职特色,注意了教材的可读性、针对性、实用性和系统性,尽力突出问题的物理实质,避免繁琐的数学推导。

本书第1章由李旭编写,第2章由谭新秀编写,第3章由姚俊武编写,第4章由陈旭武、黄丛生编写,第5章由梁庆杰编写,第6章、第9章由许春香编写,第7章由刘辉编写,第8章由肖斌编写。全书由魏汉勇主编。

江西工业职业技术学院涂相循副教授任本书主审,为本书提出了许多宝贵意见,在此谨致衷心感谢。

由于时间仓促,水平所限,谬误之处敬请读者批评指正。

编者

2000年11月

目 录

第 1 章 常用半导体器件	(1)
第 1 节 半导体的基础知识	(1)
一、本征半导体	(1)
二、杂质半导体	(2)
三、PN 结及其单向导电性	(3)
第 2 节 半导体二极管	(7)
一、二极管的结构和分类	(7)
二、二极管的伏安特性	(8)
三、二极管的主要参数	(8)
四、二极管的类型和命名	(9)
第 3 节 特殊二极管	(9)
一、稳压二极管	(9)
二、发光二极管	(10)
三、光电二极管	(11)
第 4 节 半导体三极管	(12)
一、三极管的结构	(12)
二、三极管的工作条件和放大原理	(13)
三、三极管的特性曲线	(15)
四、三极管的主要参数	(17)
五、温度对晶体管特性的影响	(19)
第 5 节 场效应管	(20)
一、结型场效应管	(20)
二、绝缘栅型场效应管	(22)
三、主要参数及使用时的注意事项	(25)
第 6 节 晶闸管	(27)
一、晶闸管的结构	(27)
二、晶闸管的工作原理	(27)
三、晶闸管的伏安特性和主要参数	(29)
四、晶闸管的分类	(30)
思考题与习题	(30)
第 2 章 放大电路基础	(32)

第 1 节 放大电路的基本概念	(32)
一、放大电路的用途及分类	(32)
二、放大电路的主要性能指标	(33)
第 2 节 基本放大电路	(35)
一、基本放大电路的组成	(35)
二、设置静态工作点的必要性	(36)
第 3 节 放大电路的基本分析方法	(37)
一、直流通路和交流通路	(37)
二、静态工作点的计算	(38)
三、图解法	(38)
四、微变等效电路法	(43)
第 4 节 稳定放大电路工作点	(48)
一、温度变化对静态工作点的影响	(48)
二、稳定工作点的典型电路	(48)
三、稳定工作点的电路分析举例	(50)
第 5 节 共集电极电路	(50)
一、电路结构及工作原理	(50)
二、主要性能指标的估算	(51)
三、主要特点和用途	(52)
第 6 节 场效应管共源极放大电路	(53)
一、场效应管放大电路的偏置	(53)
二、静态工作点的分析	(53)
三、动态分析	(55)
第 7 节 多级放大电路	(56)
一、多级放大电路的耦合方式	(56)
二、多级放大电路的动态分析	(58)
第 8 节 放大电路的频率特性	(59)
一、放大电路的频率特性	(59)
二、单级 RC 共射极放大器的频率特性	(60)
三、影响频率特性的主要因素	(66)
四、多级放大电路的频率响应	(67)
思考题与习题	(67)
第 3 章 负反馈放大电路	(76)
第 1 节 概述	(76)
一、负反馈的基本概念	(76)
二、负反馈放大电路的方框图	(77)
三、负反馈放大电路增益的一般表达式	(78)
第 2 节 负反馈放大电路的分类及判别	(79)

一、负反馈的四种组态及方框图	(79)
二、反馈的类型及性质判别	(81)
三、判别举例	(82)
第 3 节 负反馈对放大电路性能的影响	(84)
一、提高增益的稳定性	(84)
二、减小非线性失真和展宽通频带	(85)
三、改变输入电阻和输出电阻	(86)
第 4 节 负反馈放大电路的性能分析	(89)
一、单级负反馈放大电路的分析	(90)
二、深度负反馈条件下闭环增益的估算	(94)
思考题与习题	(96)
第 4 章 功率放大器	(100)
第 1 节 概述	(100)
第 2 节 变压器耦合功率放大器	(101)
一、乙类推挽功率放大器的工作原理	(102)
二、输出功率、效率和管耗	(104)
三、交越失真	(107)
第 3 节 无变压器功率放大电路	(108)
一、互补对称电路的基本工作原理	(108)
二、单电源互补对称功率放大电路(OTL)	(109)
三、复合互补式 OTL 电路	(110)
四、双电源互补对称功率放大电路(OCL)	(111)
五、BTL 电路简介	(112)
第 4 节 集成功率放大器简介	(112)
一、4100 集成音频功率放大器	(112)
二、5G37 集成音频功率放大器	(114)
思考题与习题	(114)
第 5 章 集成运算放大器	(116)
第 1 节 直接耦合放大电路和差动放大电路	(116)
一、直接耦合放大电路的特点	(116)
二、基本差动放大电路	(117)
三、常用的差动放大电路	(117)
第 2 节 集成运算放大器简介	(119)
一、集成运算放大器的组成、符号和电路模型	(119)
二、集成运算放大器的主要参数	(120)
三、集成运算放大器的电压传输特性	(121)
第 3 节 基本运算电路	(122)

一、反相输入运算电路	(122)
二、同相输入运算电路	(122)
三、差动输入运算电路	(123)
第 4 节 集成运算放大器的应用	(123)
一、模拟信号的运算	(123)
二、比较器	(125)
三、方波发生器	(127)
四、集成运算放大器应用举例	(127)
思考题与习题	(129)
 第 6 章 正弦波振荡器	(131)
第 1 节 正弦波振荡器的基本知识	(131)
一、自激振荡的条件	(131)
二、自激振荡的起振和振幅的稳定	(132)
三、正弦波振荡器的基本组成	(132)
第 2 节 RC 正弦波振荡器	(133)
一、RC 桥式振荡器	(133)
二、RC 移相式振荡器	(137)
第 3 节 LC 正弦波振荡器	(138)
一、LC 并联谐振回路	(139)
二、选频放大器	(140)
三、变压器反馈式 LC 振荡器	(141)
第 4 节 石英晶体振荡器	(142)
一、石英晶体的压电效应及等效电路	(142)
二、石英晶体振荡器	(144)
思考题与习题	(145)
 第 7 章 直流电源	(149)
第 1 节 半导体二极管单相整流电路	(149)
一、单相半波整流	(149)
二、单相全波整流	(150)
三、单相桥式整流	(151)
第 2 节 滤波电路	(152)
一、电容滤波	(153)
二、电感滤波	(154)
三、复式滤波	(155)
第 3 节 稳压电路	(157)
一、稳压管稳压电路	(157)
二、晶体管稳压电路	(158)

第 4 节 晶体管稳压电路的改进措施	(161)
一、典型电路存在的不足	(161)
二、提高稳定性能的措施	(162)
第 5 节 集成稳压器及开关稳压电源	(166)
一、集成稳压器	(166)
二、开关稳压电路简介	(168)
三、串联型开关稳压电路	(169)
四、并联型开关稳压电路	(170)
第 6 节 可控硅整流电路	(171)
一、单相半控桥式整流电路	(172)
二、三相半控桥式整流电路	(172)
三、逆变、变频与交流调压器	(175)
思考题与习题	(176)
 第 8 章 数字逻辑电路	(179)
第 1 节 概述	(179)
一、数字逻辑电路	(179)
二、脉冲信号	(179)
三、数字信号	(180)
第 2 节 基本逻辑门电路	(180)
一、与门电路	(180)
二、或门电路	(181)
三、非门电路	(182)
四、复合门电路	(183)
第 3 节 集成逻辑门电路	(184)
一、常用门电路介绍	(184)
二、集成门电路使用常识	(187)
第 4 节 触发器基本单元电路	(188)
一、RS 触发器	(189)
二、集成 JK 触发器	(190)
三、集成 D 触发器	(192)
第 5 节 逻辑门电路应用举例	(193)
一、多谐振荡器	(193)
二、施密特触发器	(195)
第 6 节 555 定时器电路	(196)
一、结构及工作原理	(196)
二、应用举例	(197)
思考题与习题	(198)

第 9 章 基本数字部件	(202)
第 1 节 二进制及码制	(202)
一、二进制数的表示方法	(202)
二、8421 码制	(204)
第 2 节 集成全加器	(205)
一、半加器	(205)
二、全加器	(205)
三、集成全加器	(207)
第 3 节 计数器	(207)
一、二进制加法计数器	(208)
二、二进制减法计数器	(210)
三、十进制计数器	(212)
四、集成计数器	(215)
第 4 节 寄存器	(222)
一、数码寄存器	(222)
二、移位寄存器	(224)
三、集成寄存器	(226)
第 5 节 译码器	(228)
一、二进制译码器	(228)
二、二-十进制译码器	(230)
三、集成译码器	(231)
第 6 节 显示电路	(235)
一、辉光数码管及显示电路	(235)
二、荧光数码管及显示电路	(236)
三、LED 显示电路	(237)
四、LCD 显示电路	(238)
第 7 节 电平转换电路	(239)
一、CMOS 电路与集成运算放大器的接口	(240)
二、CMOS 与 TTL 电路的接口	(240)
三、CMOS 与 HTL 电路的接口	(242)
四、CMOS 与其它常用电路的接口	(242)
第 8 节 D/A 转换和 A/D 转换	(244)
一、概述	(244)
二、D/A 转换器	(244)
三、A/D 转换器	(247)
思考题与习题	(253)
参考文献	(258)

第 1 章 常用半导体器件

半导体器件是近代电子学的重要组成部分。由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点而得到广泛的应用。集成电路,特别是大规模和超大规模集成电路的出现,使电子设备在可靠性和微型化等方面大大前进了一步。

本章首先简要地介绍半导体的基础知识,接着讨论半导体二极管,三极管,场效应管和晶闸管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数,为后续各章的讨论提供必要的基础知识。

第 1 节 半导体的基础知识

物质按其导电能力的大小可分为导体、半导体和绝缘体三类。导电性能介于导体和绝缘体之间的叫半导体。在自然界中属于半导体的物质很多,目前用于制造半导体器件的主要材料有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等。半导体除了在导电能力方面与导体和绝缘体不同外,还具有不同于其它物质的特点,例如:当半导体受到外界光和热的激发时,其导电能力将发生显著的变化;又如在纯净的半导体中加入微量的杂质后,其导电能力会有显著的增强。半导体之所以具有以上特点,是由于半导体内部的原子结构与导体和绝缘体的不同。半导体的原子结构比较特殊,下面着重介绍本征半导体和杂质半导体。

一、本征半导体

本征半导体就是非常纯净、晶体结构十分完整的半导体。在 $T = 0 \text{ K}$ 和没有外界激发时,由于共价键中的价电子被束缚着,所以在本征半导体中没有可以自由运动的载流子,这时它相当于绝缘体。

但是,半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中的电子被束缚得那样紧,因此在常温下,受到热激发,一些价电子将获得足够的能量而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,这种现象称为本征激发。在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下一个空位,这个空位叫做空穴。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。

共价键中出现了空穴后,在外加电场的作用下,邻近价电子就会填补到这个空穴上。在共价键中这种电荷的移动可用图 1-1 所示的结构图来说明。如果在 A_1 处出现一个电子的空穴, A_3 处的电子便可以填补到这个空穴上,从而使空穴从 A_1 移位到 A_3 。如果接着 A_2 处的电子又填补到 A_3 处的空穴上,这样空穴又由 A_3 移到 A_2 处。在这个过程中,电子由 $A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_1$,而空穴由 $A_1 \rightarrow A_3 \rightarrow A_2$,可见空穴的移动方向和电子的移动方向正好相反,因而可用空穴移动产生的电流来代表束缚电子移动产生的电流。我们把

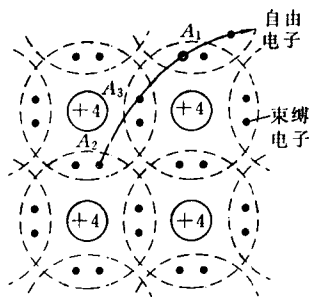


图 1-1 电子和空穴的移动

空穴看成是一个带正电的粒子,它所带的电量与电子的电量相等,符号相反,在外加电场的作用下,可以自由地在晶体中运动,从而和自由电子一样可以参加导电。空穴越多,半导体中的载流子数目越多,因此形成的电流就愈大。

在本征半导体内,自由电子和空穴是成对出现的。因此在任何时候,本征半导体中的自由电子数和空穴数总是相等的,被称做“电子-空穴对”。当半导体中出现了电子-空穴对后,并非静止不动,而是在不停地运动着:一方面本征激发产生电子-空穴对;另一方面在运动过程中某些电子和空穴可能相遇,空穴将被自由电子填补,电子-空穴对消失,共价键得到恢复,这种现象称为“复合”。在本征半导体中不断地进行着“激发”与“复合”这两种相反的过程。在恒定的温度下,这两种过程将达到动态平衡,载流子浓度保持一定的数值。当温度升高时,原来的平衡被破坏,而转化为新的平衡,结果使载流子的数量增多。由于导电能力的强弱取决于载流子数量的多少,所以半导体具有热敏特性。可见,温度是影响半导体性能的一个十分重要的外部因素。

二、杂质半导体

在本征半导体中人为地掺入微量的其它元素(称为杂质),便可得到杂质半导体,其导电能力将大为增强,可用来制造各类半导体器件。按掺入杂质的性质不同,杂质半导体可分为N型半导体和P型半导体两类。

1. N型半导体

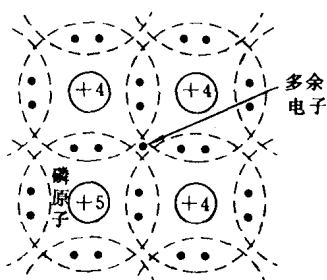


图 1-2 N型半导体结构图

在本征硅(或锗)中,掺入微量的五价元素磷(或锑)后,磷原子将均匀分布于硅晶体中,当磷原子取代硅晶体中的硅原子时,以四个价电子与相邻的硅原子组成共价键,必多余一个价电子。多余的价电子不受共价键的束缚,在室温下极易成为自由电子,如图 1-2 所示。每掺入一个杂质原子,便产生(施给)一个自由电子,故常将掺入的五价元素称为施主杂质。

施主杂质原子失去电子后,本身即成正离子,被束缚在晶体结构中,不起导电作用,这与本征激发不同。通常由掺杂所产生的自由电子数目将大大超过本征激发产生的电子-空穴对数目,即晶体中的自由电子数目远大于空穴数目。这种半导体中的自由电子称为多数载流子,空穴称为少数载流子。因其导电主要靠自由电子,故称这种半导体为电子型半导体,简称N型半导体。

在N型半导体中,尽管自由电子数目远多于空穴数目,但由于同时存在许多对应的正离子,故从整体上看,它仍是电中性的。

2. P型半导体

在本征硅(或锗)中,掺入微量的三价元素硼(或镓)后,硼原子将均匀分布于硅晶体中,当晶体中少量硅原子被硼原子取代时,由于每个硼原子只有三个价电子,当它与邻近的四个硅原子形成共价键时,还缺少一个价电子,即出现一个空穴。在常温下相邻原子的价电子很容易填补这个空穴,使硼原子电离,变为负离子,同时在其共价键上产生一个空穴(见图 1-3)。这种容易接受价电子,产生空穴的杂质称为受主杂质。

受主杂质电离时只产生空穴不产生自由电子,负离子被束缚在晶格结构中,不能自由移

动,不起导电作用。在这种半导体中,空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子,故称这种半导体为空穴型半导体,简称P型半导体。整个P型半导体仍是电中性的。

由此可见,在掺入杂质后,载流子的数目都有相当程度的增加,尽管杂质含量甚微,但它们对半导体的导电能力却产生很大影响。掺入百万分之一的杂质,载流子浓度将增加一百万倍。如果在半导体中既掺施主杂质,又掺受主杂质,则其导电类型决定于浓度大的杂质,工程上常靠控制掺入杂质的性质和浓度来实现半导体在N型和P型之间相互转化,称为杂质补偿,它是制造半导体器件的常用方法。

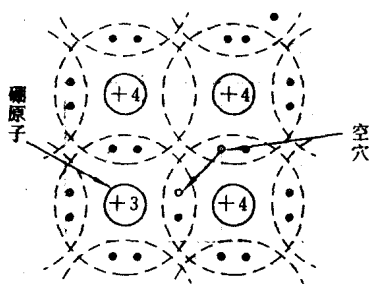


图 1-3 P型半导体结构图

3. 半导体中的电流

载流子在半导体中作定向运动形成电流。半导体中有两种电流:一种是在外加电场的作用下形成的漂移电流;另一种是在浓度差的作用下形成的扩散电流。

(1) 漂移电流

如果在半导体两端加上一定的电压,则半导体内的电子载流子和空穴载流子将互以相反的方向(电子逆电场方向,空穴顺电场方向)运动而形成电流,称为漂移电流。

在杂质半导体中,漂移电流主要由多数载流子构成。而在本征半导体中,漂移电流则由两种载流子同时构成。但比较起来电子电流要比空穴电流大些,这是由于尽管它们的载流子浓度一样,然而,空穴导电是共价键上束缚电子的移动形成的,而自由电子的运动要比束缚电子移动的速度快得多。

(2) 扩散电流

扩散运动是一种常见的物理现象,它是物质由浓度高的地方向浓度低的地方扩散的一种运动。浓度差是引起扩散运动的动力,浓度差越大,扩散运动就进行得越快。如果在半导体内的某一部分出现了某种载流子浓度较高的情况,则由于扩散运动,这种载流子就会由浓度高的地方向浓度低的地方扩散,这种由扩散运动形成的电流称为扩散电流。扩散电流的大小与浓度差成正比,而与载流子浓度本身无关。半导体中有两种载流子,因而有两种扩散电流,即电子扩散电流和空穴扩散电流。

三、PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

如果在一块本征半导体的两边掺入不同的杂质,其中一边形成N型半导体,另一边形成P型半导体。那么,在两者的交界处便形成一层很薄的特殊导电层,称为PN结。PN结是半导体器件的核心。

当掺入不同的杂质,使半导体两边分别形成P型区和N型区时,由于载流子的浓度差,两区界面附近的多子将首先各自向对方扩散,并分别与对方区域中的多子复合,结果,界面附近的P区中留下带负电的受主杂质离子,N区中留下带正电的施主杂质离子,因而产生了由N区指向P区的“内建电场”,如图1-4所示,因为正、负离子不能自由移动,于是在界面两侧出现带等量异性电荷的一层很薄的“空间电荷区”。在空间电荷区内几乎没有可移动的载流子,因而

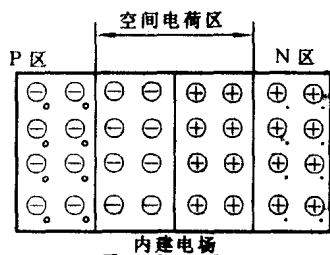


图 1-4 内建电场的形成

叫做“耗尽区”。

内建电场对电子和空穴的扩散运动起阻碍作用,但对它们的漂移运动起加强作用,因为电子和空穴扩散到空间电荷区后,将受到内建电场的漂移作用,把电子拉回到N区,把空穴推回到P区。但开始时,扩散运动大于漂移运动,使空间电荷区变厚,内建电场增强。随着内建电场的增强,载流子的扩散运动减弱,漂移运动增强。直到浓度差所造成的扩散作用与内建电场的漂移作用相平衡时,P区向N区扩散过去多少空穴,同时就有同样数目的空穴被内建电场拉回到P区;电子也是一样。

此时,界面两边处于动态平衡,空间电荷不再变化,形成了具有一定厚度(微米数量级)的稳定的空间电荷区,这就是PN结。PN结将阻止扩散运动继续进行,故也称为“阻挡层”。

空间电荷区也称为“势垒区”。内建电场产生的电位差称“势垒高度”,用 U_D 表示。 U_D 大小不仅与半导体材料有关,还与掺杂浓度及温度有关。通常硅材料PN结的 U_D 约为0.6~0.7V,锗材料PN结的 U_D 约为0.2~0.3V。对于同一种材料的PN结, U_D 随掺杂浓度的增大而升高,随温度的上升而下降。

由于P区和N区掺杂浓度不等,因此,实际的PN结都是“非对称结”。对于非对称结来说,PN结将主要集中在掺杂浓度低的区域。当P区受主杂质浓度大于N区施主杂质浓度时,形成的PN结如图1-5所示。这是因为P区杂质浓度大,为使N区拿出同样的正离子与P区的负离子组成空间电荷区,PN结必然要向N区扩展得宽些。

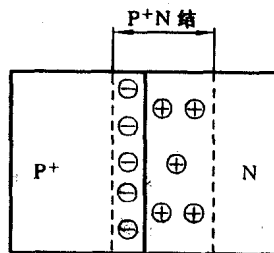
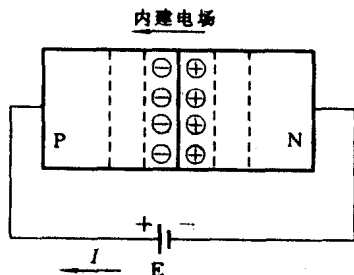


图 1-5 不对称PN结

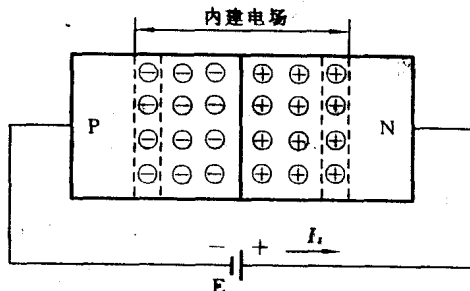
2. PN结的单向导电性

PN结的单向导电性是指当PN结外加正向电压时,PN结呈现较小的电阻性,有较大的电流流过PN结,为导通状态;当PN结外加反向电压时,PN结呈现较大的电阻性,流过PN结的电流极小,为截止状态。

当PN结正向连接时,如图1-6(a)所示,由于外加的正向电压与PN结内建电场的方向相反,削弱了内建电场的作用,因此扩散运动大于漂移运动,P区的空穴不断扩散到N区,N区的电子不断扩散到P区,于是在外电路产生了由扩散运动所形成的正向电流 I 。随着外加正向电压的进一步增加,PN结的内建电场将进一步减弱,扩散电流进一步增加。理论和实验都证



(a) 外加正向电压的PN结



(b) 外加反向电压的PN结

图 1-6 PN结的单向导电性