

高等师范院校试用教材

电子线路基础

模拟电路与数字电路

师范院校教育学院电子技术教学研究会 编

陕西科学技术出版社

高等师范院校试用教材

电子线路基础

模拟电路与数字电路

师范院校教育学院电子技术教学研究会 编

陕西科学技术出版社

顾问：顾德仁

主编：黄庆元 姜瑞芝 邱荣庆

编委：高淑芳 马学坤 赵衡星 裴幼强 陈 华 聂存祥

金 生 闵郁昌 洪 钢 杨炎忠 杜 凯 李建国

王庭林 纪海元 索丹池 赵宗荣 徐四益

主 审：徐克服 王继仁

高等师范院校试用教材

电 子 线 路 基 础

模拟电路与数字电路

师范院校教育学院电子技术教学研究会 编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街131号)

新华书店经销 西安军航印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 19印张 424千字

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数：1—7,500

ISBN 7-5369-0056-2/G·18

统一书号：7202·154 定价：4.60元

前 言

我会根据高等师范院校《电子线路基础》教学大纲精神，结合科学技术的发展和教学改革的需要，编写了一套适用于师范院校、教育学院的电子线路新教材，包括《模拟电路与数字电路》、《无线电广播与接收机》和配套的《实验指导》、《学习指导》，共四册。

本书是这套新教材的第一册，它是编著者近几年来教学实践经验的总结。按照保证基础、精选内容、加强概念、面向更新、联系实际、利于自学的编写原则，删减了陈旧、繁杂的内容，突出了集成电路，增加了数字电路的篇幅。编者在深入浅出阐明基本概念的基础上，加强了基本电路的分析和应用；虽然突出了集成电路，但模拟电路中分立元件电路仍占一定比重。

本书模拟电路部份，删减了直流稳压电源和功率放大器等章节的篇幅，增加了集成运算放大器的学时数，并将调谐放大器的有关内容分别写入振荡器和第二册的晶体管收录机两章。数字电路部份，改变了传统教材中关于集成逻辑电路内部结构的阐述，重点介绍数字集成电路的功能特点。为适用起见，在取材上选取了常用的典型数字集成器件，并且增加了数字电路应用的内容。

本书按70学时编，书中打※者，不在学时数内，各院校可根据自己的特点自行处理。

这套书是山陕西师大、都江堰教育学院、山西师大、咸阳师专、烟台教育学院、包头师专、西南民院、济宁师专、济宁教育学院、乐山师专、天津教育学院、武汉教育学院、哈尔滨师专、成都师专、北京教育学院、承德师专、银川师专、西安师专、兰州师专、新乡师专、保定教育学院、徐州师专、运城师专、咸宁师专、绵阳师专、内江师专、渝州大学、达县师专、安康师专、柳州师专、零陵师专、曲靖师专、蒙自师专、临沂教育学院、宜宾师专、晋东南师专、涪陵师专、淄博师专等三十八所院校有多年教学实践的教师编写而成，它是集体智慧的结晶。

成都电讯工程学院顾德仁教授为本套教材的顾问，西北大学姚长安副教授对数字电路部分进行了认真的审阅和指导，黄庆元副教授对整套教材的编写负责具体指导和组织工作。山西师大徐克服副教授和承德师专王继仁副教授、涪陵师专石邦恒同志负责这套教材的主审工作，参加审稿的有淮阴师专副教授钱如竹、沈阳教育学院姚凯元、六安师专郑有祥、徐州师专董文莲、西安教育学院叶湘、阜新市教育学院崔醒环、黄冈教育学院方晓红、太原教育学院孟范中、乌盟师专杜彦等老师。同志们提出了很多宝贵的意见，并对有关章节进行了修改。咸阳师专周化琴、李宗领老师和西南民院李树青老师为本书做了大量工作。在编写和出版过程中还有许多同志给予热情的支持和帮助，在此我们表示衷心的感谢。

电子技术日新月异，本课程的教学尚须不断改革。由于时间仓促，书中错误和欠妥之处在所难免，恳切希望兄弟院校师生和广大读者批评指正。

师范院校、教育学院电子技术教学研究会

一九八七年五月

目 录

第一篇 模拟电路基础

第一章 半导体器件	(1)
§ 1-1-1 半导体的导电特性.....	(1)
一、本征半导体.....	(1)
二、杂质半导体.....	(2)
三、半导体中的扩散电流与漂移电流.....	(4)
§ 1-1-2 半导体二极管.....	(5)
一、PN结.....	(5)
二、二极管的结构与分类.....	(6)
三、二极管的伏安特性.....	(8)
四、二极管的稳压特性.....	(10)
五、二极管的电容效应.....	(11)
六、二极管的开关特性.....	(12)
七、二极管的主要参数.....	(13)
八、二极管的等效电路.....	(15)
§ 1-1-3 半导体三极管.....	(15)
一、三极管的结构与分类.....	(16)
二、三极管内载流子的输运过程及电流分配.....	(16)
三、三极管的特性曲线.....	(19)
四、三极管的开关特性.....	(21)
五、三极管的主要参数.....	(23)
§ 1-1-4 场效应管.....	(26)
一、结型场效应管.....	(26)
二、绝缘栅型场效应管.....	(29)
三、场效应管的主要参数.....	(31)
习题.....	(32)
第二章 晶体管放大电路基础	(34)
§ 1-2-1 单管放大电路.....	(34)
一、电路的组成.....	(34)
二、直流通道和静态工作点.....	(35)
三、交流通路.....	(36)
§ 1-2-2 放大电路的图解分析方法.....	(36)
一、用图解法确定静态工作点.....	(37)
二、用图解法描绘放大电路各处的电流、电压波形.....	(38)
三、静态工作点对波形失真的影响.....	(39)

四、交流负载线和动态范围	(41)
§ 1—2—3 微变等效电路分析法	(42)
一、晶体管的h参数	(42)
二、晶体管的h参数等效电路	(45)
三、晶体管输入电阻 h_{ie} (r_{be}) 的估算	(46)
四、放大器的输入电阻和输出电阻	(47)
五、用微变等效电路计算放大器的性能指标	(48)
§ 1—2—4 静态工作点的稳定	(51)
一、环境温度 T_a 对工作点的影响	(51)
二、工作点稳定电路	(53)
§ 1—2—5 共基极电路与共集电极电路分析	(56)
§ 1—2—6 多级阻容耦合放大器	(62)
一、多级放大器的电压增益	(62)
二、多级放大器的输入、输出电阻	(64)
三、放大倍数的分贝表示法	(67)
四、阻容耦合放大器的频率特性	(68)
§ 1—2—7 场效应管放大器	(72)
一、偏置电路	(72)
二、静态工作点的确定	(73)
三、场效应管的微变等效电路	(74)
四、用微变等效电路分析场效应管放大器	(75)
§ 1—2—8 变压器耦合功率放大器	(78)
习题	(82)
第三章 负反馈放大电路	(87)
§ 1—3—1 反馈的概念与种类	(87)
一、反馈的概念	(87)
二、负反馈放大电路的分类	(88)
§ 1—3—2 负反馈电路	(90)
一、电流串联负反馈电路	(90)
二、电压串联负反馈电路	(91)
三、电压并联负反馈电路	(92)
四、电流并联负反馈电路	(94)
五、负反馈放大电路的一般表达式	(95)
§ 1—3—3 负反馈对放大电路性能的影响	(96)
一、负反馈提高放大倍数的稳定性	(96)
二、负反馈展宽放大电路的通频带	(97)
三、负反馈改善非线性失真	(97)
四、负反馈改变放大电路的输入电阻和输出电阻	(98)

§ 1—3—4 负反馈放大电路的计算	(101)
一、利用方框图的计算法	(101)
二、深度负反馈放大电路的近似估算	(109)
习题	(112)
第四章 直接耦合放大器和运算放大器	(115)
§ 1—4—1 直接耦合放大器的主要问题	(115)
一、级间直接耦合方式和电位配合问题	(115)
二、零点漂移问题	(116)
§ 1—4—2 差分放大电路	(117)
一、差分放大电路的工作原理	(117)
二、典型差分放大电路的分析	(119)
三、差分放大电路的改进	(124)
四、单端输入的差分放大电路	(125)
§ 1—4—3 直接耦合功率放大电路	(126)
一、互补对称式功率放大电路	(126)
二、复合管互补对称电路	(128)
§ 1—4—4 集成运算放大器	(131)
一、集成运算放大器的主要技术指标	(132)
二、集成运算放大器的基本组成部分	(133)
* 三、5G24型集成运放电路分析	(140)
四、集成运算放大器的基本原理	(142)
五、集成运算放大器的应用	(145)
习题	(153)
第五章 正弦波振荡器	(156)
§ 1—5—1 自激振荡原理	(156)
一、从放大器转化为自激振荡器	(156)
二、自激振荡的平衡条件	(156)
三、自激振荡的建立和振幅的稳定	(157)
§ 1—5—2 LC 振荡器	(157)
一、LC 并联谐振电路的选频特性	(157)
二、变压器耦合振荡器	(160)
三、三点式振荡器	(163)
§ 1—5—3 石英晶体振荡器	(168)
一、石英晶体的基本特性和等效电路	(168)
二、石英晶体振荡电路	(169)
§ 1—5—4 RC 振荡器	(171)
一、RC 相移振荡器	(171)
二、文氏电桥振荡器	(172)

习题	(175)
第六章 整流稳压电源	(177)
§ 1—6—1 整流电路	(177)
一、半波整流电路	(177)
二、全波整流电路	(178)
三、桥式整流电路	(178)
四、倍压整流电路	(179)
§ 1—6—2 滤波电路	(180)
一、电容滤波电路	(180)
二、电感滤波电路	(182)
三、其它滤波电路	(183)
§ 1—6—3 串联型晶体管稳压电路	(184)
一、电路组成和稳压原理	(184)
二、提高稳压电源性能的措施	(186)
§ 1—6—4 集成稳压电路和开关电源	(188)
一、集成稳压电路	(188)
二、开关电源	(190)
习题	(193)

第二篇 数字电路基础

第一章 数字电路基本知识	(195)
§ 2—1—1 计数制	(195)
一、十进制数	(195)
二、二进制数	(196)
三、不同数制之间的转换	(197)
四、二——十进制码	(199)
§ 2—1—2 脉冲波及其参数	(200)
§ 2—1—3 基本逻辑关系和常用逻辑门	(201)
一、关于逻辑电路中的几个概念和规定	(201)
二、基本逻辑关系和逻辑门	(202)
三、复合逻辑门	(204)
§ 2—1—4 晶体管——晶体管逻辑门电路	(206)
一、TTL与非门	(207)
二、集电极开路与非门	(209)
三、三状态输出门	(210)
四、TTL主要参数	(211)
五、扩展器	(213)
* § 2—1—5 MOS逻辑门电路	(215)

一、CMOS非门	(215)
二、CMOS与非门	(215)
三、CMOS或非门	(216)
四、CMOS三态门	(216)
§ 2-1-6 逻辑代数基础	(216)
一、逻辑代数的基本定理、定律和常用公式	(217)
二、逻辑代数的重要规则	(218)
三、逻辑函数的化简	(219)
习题	(227)
第二章 组合逻辑电路	(229)
§ 2-2-1 常见的组合逻辑单元	(229)
一、全加器	(229)
二、编码器	(230)
三、二——十进制译码器及显示器	(231)
四、数据选择器	(234)
五、数据分配器	(235)
§ 2-2-2 组合逻辑电路的分析方法	(236)
一、分析步骤	(236)
二、分析举例	(236)
§ 2-2-3 组合逻辑电路的设计	(238)
一、设计步骤	(238)
二、设计举例	(238)
习题	(241)
第三章 时序逻辑电路	(242)
§ 2-3-1 集成触发器	(242)
一、描述触发器逻辑功能的方法	(242)
二、功能触发器	(243)
三、不同类型触发器之间的转换	(246)
*四、触发器的几种常见结构及其动作特点	(248)
§ 2-3-2 时序逻辑电路的分析方法	(252)
一、描述时序电路逻辑功能的方法	(252)
二、时序电路的分析步骤	(252)
三、时序电路的分析举例	(253)
§ 2-3-3 寄存器	(255)
一、数码寄存器	(256)
二、移位寄存器	(257)
§ 2-3-4 计数器	(258)

一、二进制计数器	(259)
二、同步十进制加法计数器	(263)
习题	(265)
第四章 脉冲波形的产生和变换	(267)
§ 2—4—1 简单脉冲波形的变换电路	(267)
一、微分电路	(267)
二、积分电路	(268)
三、限幅器	(268)
§ 2—4—2 多谐振荡器	(271)
一、集成电路多谐振荡器	(271)
* 二、分立元件构成的多谐振荡器	(273)
§ 2—4—3 集成电路单稳态触发器	(274)
一、微分型集成电路单稳态触发器	(274)
二、积分型集成电路单稳态触发器	(275)
三、单稳态触发器的应用	(276)
§ 2—4—4 集成电路施密特触发器	(277)
一、集成与非门组成的施密特触发器	(277)
二、施密特触发器的应用	(279)
§ 2—4—5 间歇振荡器	(280)
一、典型间歇振荡器工作原理	(280)
二、变形间歇振荡器工作原理	(281)
习题	(282)
第五章 数字电路的应用	(284)
§ 2—5—1 JSS—1 数字式多用仪	(284)
一、概述	(284)
二、电路分析	(284)
* § 2—5—2 数字钟	(287)
一、振荡器	(288)
二、分频器	(288)
三、计数器	(288)
四、译码显示电路	(289)
五、校时电路	(289)
六、整点报时电路	(290)
§ 2—5—3 电子数字计算机简介	(290)
一、概述	(290)
二、主机结构	(291)
三、微计算机与微处理器概述	(294)

第一篇 模拟电路基础

第一章 半导体器件

半导体器件，主要包括半导体二极管、三极管和场效应管。它是各种电子电路的重要组成部分。要学好电子技术这门课程，首先要了解半导体器件的结构和电特性。

构成半导体器件的核心是PN结，本章介绍PN结的形成及其导电特性，并在此基础上讨论半导体三极管、场效应管的工作原理、特性曲线和主要参数。

§1-1-1 半导体的导电特性

半导体之所以被人们重视并得到广泛应用，是因为它具有一些极其特殊的电特性。

半导体的导电性受外界环境条件的影响，如温度、压强、光照以及电磁场等，会发生异常显著的变化。根据这些特性制成了热敏电阻、压敏器件、磁敏二极管、光电二极管等。

“掺杂”对半导体导电性能也有显著的影响。如在室温下，单晶硅（Si）的本征电阻率为 $2.14 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 。若掺入微量（ 10^{-6} ）杂质原子，其纯度仍保持在99.9999%，但其电阻率却变为 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，几乎降低了一万倍。所以，掺杂对半导体导电性能的显著影响是半导体材料的一个突出而又重要的特性。电子技术中正是利用这个特性，通过各种工艺手段，控制杂质的性质和浓度，制成了多种性能优异的半导体器件。新型半导体器件的不断出现，特别是超大规模集成电路的问世，为电子技术的发展和应 用，开拓了无限广阔的前景。

一、本征半导体

纯净且原子排列整齐的半导体，称为本征半导体。目前制造半导体器件的主要材料是单晶硅（Si）与单晶锗（Ge），它们都是四价元素。

1. 半导体的晶体结构

半导体（硅或锗）的晶体结构与金刚石的结构相同，都是原子晶体。每个原子都以对称的形式与相邻的四个原子组成共价键（相邻原子共有电子）而紧密结合起来。所有原子按一定规律，规则地排列起来，形成空间点阵。图1—1—1是硅晶体结构的平面示意图。

在绝对零度及无外界激发的条件下，共价键上的价电子不能脱离原子的束缚成为自由

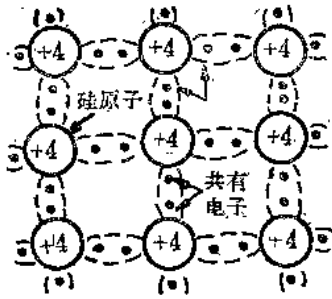


图 1-1-1 硅晶体结构平面示意图

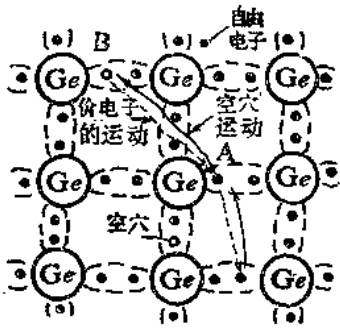


图 1-1-2 本征激发产生电子

电子，故不能参与导电。

2. 本征半导体中的载流子—自由电子与空穴

在一定温度下，由于晶体原子的热运动，而使电子获得一定的能量。温度越高，获得的能量越大，共价键上的少数价电子就有可能挣脱原子的束缚变成自由电子。这个过程称为本征激发。

本征激发使一个价电子脱离共价键变为自由电子，与此同时在相应的共价键上便留下一个价电子的空位，称为空穴。由于失去的是带负电的电子，故空穴带正电。显然，每当有一个价电子变为自由电子，便同时产生一个空穴，故自由电子与空穴总是同时产生、成对出现，称为电子—空穴对。如图 1-1-2 所示。

在本征半导体中，自由电子可以定向移动形成电子电流，自由电子是载流子。除自由电子外，空穴也能定向移动形成空穴电流，故空穴也是载流子。所谓空穴的运动，就是当半导体中某共价键上出现空穴时，如图 1-1-2 中的 A 点处，邻近共价键上的价电子会移到这个空穴中来，而转移后的共价键上出现一个新的空穴，如图 1-1-2 中 B 点所示。共价键上的价电子依次从一个键向相邻的另一个键上的空穴转移，这就相当于空穴沿着与价电子运动相反方向运动一样，这便是空穴的运动。总之，在本征半导体中，由于本征激发产生了两种载流子—自由电子和空穴。

3. 半导体中载流子的“产生”与“复合”

在一定温度下，本征半导体一方面由于本征激发不断地“产生”着电子—空穴对，而另一方面，电子和空穴在运动过程中可能相遇，这时自由电子会填入空穴恢复一个完整的共价键，二者也同时消失，这个过程称为载流子的“复合”。实际上，载流子的“产生”与“复合”是在同时进行着。本征激发不断产生电子与空穴，电子与空穴又不断地复合。在一定温度下，单位时间内产生的载流子数目与单位时间内复合的载流子数目相等，从宏观看，自由电子与空穴数目将保持恒定，这种状态称为动态平衡。当温度升高时，本征激发增强，产生胜于复合，平衡被破坏，载流子数目增多，同时也增加了载流子复合的机会，结果复合又增强，从而阻止载流子数目的继续增加，直到在新的条件下，达到新的动态平衡。

二、杂质半导体

电子技术中，由于制造半导体器件的材料多是在高纯度（一般在 99.999999%）的本征半导体中，掺入一定的杂质（指其它化学元素）制成所谓的杂质半导体，根据掺入杂质

性质的不同，杂质半导体分为N型和P型半导体。

1. N型半导体

在本征半导体硅（或锗）中掺入少量的五价元素如砷（As），这些砷原子就取代了少部分晶体中的硅原子，占据晶格上的某些位置而成为杂质半导体。由于砷原子有五个价电子，除其中四个价电子分别与相邻的四个硅原子组成共价键外，还剩余一个价电子不能形成共价键。这个价电子受原子的束缚较弱，很容易被激发成为自由电子。由于砷原子在半导体中能够给出电子，故称为施主杂质。砷原子失去一个电子后电离成为带正电的施主离子，如图 1—1—3（a）所示。在室温下，掺入半导体中的五价元素的原子，几乎都被电离成为施主正离子和自由电子。

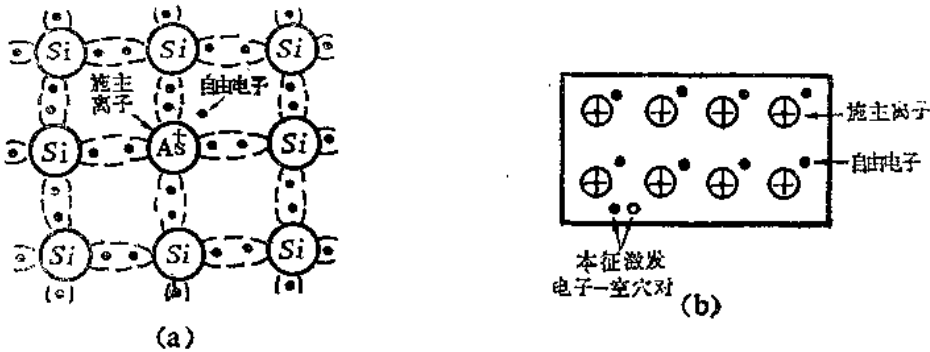


图 1—1—3 N型半导体

有必要指出的是，（1）由施主原子电离产生的自由电子浓度（近似等于杂质浓度）远大于本征激发产生的载流子浓度（即本征浓度）。例如在室温下，一块掺入砷杂质的硅半导体，掺杂浓度为 $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时，砷原子全部电离后，自由电子浓度也是 $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，要比硅的本征浓度 $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 大一百万倍。显然在这种半导体中，自由电子浓度远大于空穴浓度，自由电子称为多数载流子（简称多子），而空穴称为少数载流子（简称少子）。参与导电的主要是电子，故称这种半导体为电子型半导体，又叫N型半导体。（2）在N型半导体中虽然电子浓度远大于空穴浓度，但整个半导体仍然是电中性的。因为除中性硅原子外，N型半导体中，带电粒子是由施主杂质电离产生的数目相等的施主正离子和自由电子，以及由本征激发产生的电子—空穴对。故自由电子数=施主正离子数+空穴数。半导体呈电中性。这种情况可以用图 1—1—3（b）形象地表示出来。

2. P型半导体

在本征半导体硅（或锗）中，掺入三价元素，如硼（B），硼原子便取代少量硅原子在晶体阵点中的位置。硼原子只有三个价电子，只能和相邻的三个硅原子形成完整的共价键，而与相邻的第四个硅原子不能形成共价键，其中有一个空穴。邻近硅原子中的价电子，很容易去填补这个空穴，而使硼原子多了一个电子成为带负电的受主离子，同时邻近共价键上又出现一个空穴。如图 1—1—4（a）所示。由于硼原子起着接受电子、产生空穴的作用，故称为受主杂质。同样道理，这种半导体中，由于掺杂能力远大于本征浓

度，即空穴浓度远大于电子浓度，空穴是多子，电子是少子。主要靠空穴导电，故称这种杂质半导体为P型半导体或空穴型半导体。

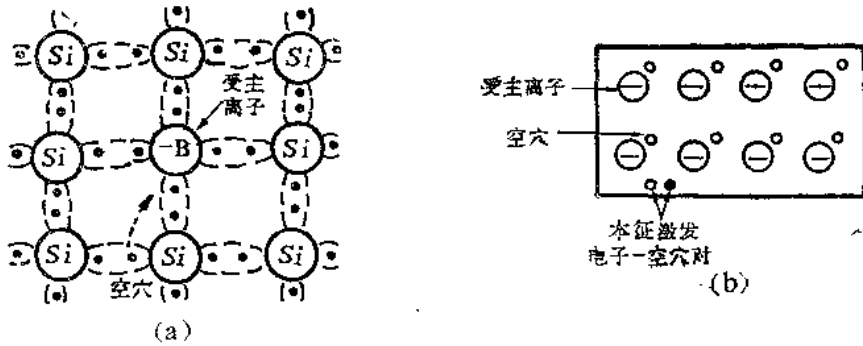


图 1-1-4 P型半导体

P型半导体中，除中性硅原子外，带电粒子是受主杂质电离产生的数目相等的受主负离子和空穴，以及由本征激发产生的电子—空穴对组成的。空穴数=受主负离子数+自由电子数。整个半导体也是电中性的。如图 1-1-4 (b) 所示。

三、半导体中的扩散电流与漂移电流

半导体中有两种载流子—电子和空穴。当这些载流子在不规则热运动的基础上作定向运动时，就要形成电流。我们把在电场作用下，载流子产生的定向运动称为漂移运动。载流子定向漂移运动形成的电流称为漂移电流。而把由于载流子浓度分布不均匀引起的载流子的定向运动称为扩散运动，由此形成的电流称为扩散电流。

1. 漂移电流

在半导体两端加电压 U ，产生电场 E ，在电场作用下，载流子将定向运动形成漂移电流。空穴与电子的漂移方向相反，但电流方向相同。

半导体中载流子的平均漂移速度 v 与电场强度 E 成正比。即

$$v = \mu E \quad (1-1-1)$$

式中比例系数 μ 称为载流子的迁移率，如果用 n 表示载流子浓度，则电流密度为

$$J = ne\mu E \quad (1-1-2)$$

上式表明漂移电流密度与场强成正比。

2. 扩散电流

如果半导体中载流子浓度分布不均匀存在着浓度梯度，载流子将从浓度大处向浓度小处扩散，形成扩散电流。扩散电流密度大小与载流子的浓度梯度成正比。

§1-1-2 半导体二极管

一、PN结

PN结是半导体器件的核心与基础。二极管就是一个PN结器件，其他半导体器件的基本结构也是PN结。要掌握半导体器件，还须首先弄清PN结的形成过程及其特性。

1. PN结的形成

在一块本征半导体上，利用掺杂工艺方法，使一侧形成N型半导体，另一侧形成P型半导体。N区中电子是多子，空穴是少子，电子浓度大；而P区空穴是多子，电子是少子，空穴浓度大。这样由于载流子浓度的不同，在界面附近引起了载流子的扩散运动。电子从N区向P区扩散，同时空穴由P区向N区扩散。多子的扩散运动形成了扩散电流。扩散运动的结果，使N区界面附近失去电子，留下了等量的不能运动的施主正离子；而在P区界面附近失去空穴，留下等量的受主负离子，因此在界面处形成了很薄的空间电荷区，这就是PN结。在这个电荷区内存在一个很强的电场，称为内电场 E_i ，电场方向由N区指向P区。如图1-1-5所示。

随着扩散运动的进行，空间电荷区变宽，内电场也随之增强，内电场对多子的扩散运动起阻碍作用，故把这个空间电荷区又称阻挡层。与此同时，在内电场作用下，N区的少子—空穴和P区的少子—电子，各自向对方区域做定向漂移运动，形成漂移电流。

开始时，扩散运动胜于漂移运动，随着扩散的进行，空间电荷区变厚，电荷增多，内电场增强，结果扩散运动被抑制而漂移运动增强，直到

扩散运动与漂移运动达到动态平衡。空间电荷区才处于相对稳定状态。这时扩散电流与漂移电流大小相等方向相反。宏观看，通过交界面的总电流为零。PN结的相对稳定状态是在一定条件下形成的，当外界条件（如温度、光照、外加电压等）改变时，PN结的动态平衡会随之发生变化。

PN结又叫耗尽层，因为在空间电荷区内，可移动的载流子都已扩散到对方并被复合掉，或者说“消耗尽”了，故称耗尽层。耗尽层内没有可移动的载流子，故电阻率很高。

界面两边空间电荷区的厚度与掺杂浓度有关。如果P区受主杂质浓度与N区的施主杂质浓度相等，则界面两侧电荷区的厚度也相等，PN结是对称的。如果掺杂浓度不同，则浓度小的一侧空间电

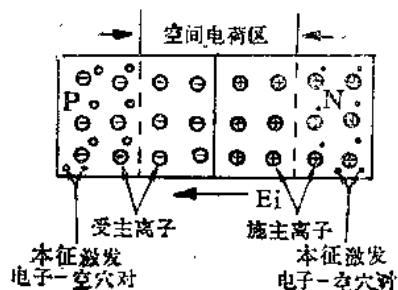


图 1-1-5 平衡状态下的PN结

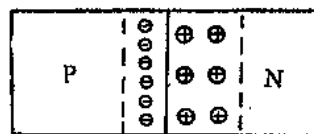


图 1-1-6 不对称的P+N结

荷区厚度增大，形成了不对称的PN结。晶体管中的PN结，两侧掺杂浓度往往相差悬殊，如果P区掺杂浓度远大于N区，这种PN结，记为P⁺N结。这里“P⁺”表示P区为重掺杂区。如图1-1-6所示。

2. PN结的单向导电性

PN结未加电压时（零偏置），处于平衡状态，通过PN结的电流为零。

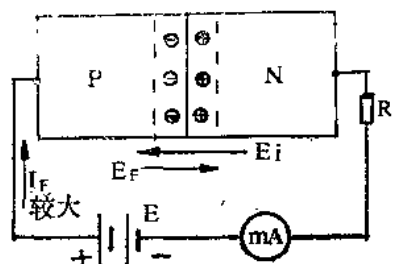


图 1-1-7 正向偏置的PN结

(1) PN结加正向电压

给PN结加电压，使电源正极接P区，负极接N区，如图1-1-7所示。这种情况称为正向偏置（简称正偏）。

当PN结正偏时，外加电压在阻挡层内层产生的外电场 E_F 与内电场 E_i 方向相反，内电场被削弱，破坏了原来的动态平衡。N区内的多子（电子）又要向左边扩散与原来空间电荷区的施主正离子中和，使空间电荷区变薄。同理P区的多子（空穴）也向右边扩散，也使电荷区变薄。这些多子的扩散形成了较大的扩散电流；从而导致外电路出现较大的电流。PN结呈低电阻，这种状态称正向导通状态。这时的电流称正向电流。正向电压越大，正向电流也越大。至于PN结两边少子形成的漂移电流与扩散电流相比非常小，可以忽略不计。

由此可见，PN结正偏时，阻挡层变薄，正向电流大，正向电阻小，PN结呈正向导通状态。

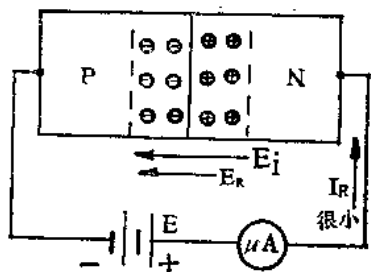


图 1-1-8 反向偏置的PN结

(2) PN结加反向电压

当外接电源的正极接N区，负极接P区，如图1-1-8所示，这种情况称为反向偏置（简称反偏）。

PN结反偏时，外电场 E_R 与内电场 E_i 方向相同，使内电场增强。电场驱使N区的电子与P区的空穴离开靠近耗尽层区域，在结附近留下更多的正负离子，阻挡层变厚，扩散电流减小甚至停止，漂移运动占优势。这时通过PN结的电流，主要是少子运动形成的漂移电流，由于少子浓度小，漂移电流几乎不随外加电压而变化，故称为反向饱和电流。可见PN结反偏时阻挡层变厚，反向饱和电流很小，PN结反向电阻大，呈反向截止状态。

综上所述，PN结正偏时，呈低电阻，正向电流大，处于正向导通状态；反偏时，呈高电阻，反向电流小，处于截止状态。这就是PN结的单向导电性。

二、二极管的结构与分类

半导体二极管是由一个PN结芯片，加上电极引线，再用管壳封装而成的。普通二极管的电路符号用“ \rightarrow ”表示。符号中的三角形箭头所指的方向是正向电流的方向。