

21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材



MONI DIANZI JISHU JICHU

模拟电子技术基础

主 编 魏汉勇

副主编 王明洋 王艳平

主 审 刘继清

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

01
89

21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材

模拟电子技术基础

主 编	魏汉勇	
副主编	王明洋	王艳平
参 编	奚素霞	王华强
主 审	刘继清	

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/魏汉勇 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2004年2月
ISBN 7-5609-3085-9

I. 模…

II. ①魏… ②王… ③王…

III. 模拟电路-电子技术-高等学校

IV. TN710

模拟电子技术基础

魏汉勇 主编

责任编辑:谢燕群

封面设计:潘 群

责任校对:章 红

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:湖北恒吉印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:15.5

字数:264 000

版次:2004年2月第1版

印次:2004年2月第1次印刷

定价:19.80元

ISBN 7-5609-3085-9/TN·79

(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 21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材之一。主要介绍的内容有: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,集成运算放大电路,正弦波振荡电路,直流电源。书中有个别内容如“晶闸管”是为强电类专业而增设的,其他专业可根据情况取舍。每章配有一定数量的例题和习题。

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。可作为电子与信息类专业高职高专教材,也可供电大、职大相关专业作教材选用。

21 世纪高职高专电子与信息类专业 系列教材编委会

主 任 谢自美 (华中科技大学电子与信息工程学院教授)

委 员 (以姓氏笔画为序)

尹立贤 (湖南信息职业技术学院电子工程系主任)

刘小芹 (武汉职业技术学院副院长)

刘继清 (武汉船舶职业技术学院电气与信息工程系主任)

刘晓魁 (湖南生物机电职业技术学院计算机信息工程系主任)

李绍唐 (湖南科技职业学院院长)

姚建永 (武汉职业技术学院电子信息工程系主任)

黄新民 (湖南信息职业技术学院副院长)

韩卫宏 (武汉仪表电子学校副校长)

熊 绪 (武汉船舶职业技术学院教务处处长)

前 言

本教材较为全面地介绍了常用半导体器件,放大电路基础,负反馈放大电路,功率放大器,集成运算放大电路,正弦波振荡电路,直流电源等方面的内容。

本书的编者都是高职高专院校的老师,长期从事电子技术课程的教学工作,积累了丰富的教学经验,对高职高专学生的知识接受能力有着深刻的了解,所以在编写本书时做到了内容取舍得当,难易适中,突出技术性、应用性的特点,力求突出问题的物理实质,避免繁琐的数学推导。真正反映了教育部关于高职高专课程改革意见的精神。

本教材可作为高职高专、职业技术学院电子信息类专业学生的教材,也可作大专函授、电子技术培训班的教材,还适合于开有《电子技术基础》课程的其他专业学生使用。

本书由武汉职业技术学院的魏汉勇老师担任主编,由武汉船舶职业技术学院的刘继清老师担任主审。第1章、第6章由武汉船舶职业技术学院王明洋老师编写,第2章由湖南信息职业技术学院王艳平老师编写,第5章由湖南信息职业技术学院奚素霞老师编写,第3章、第4章、第7章由武汉职业技术学院魏汉勇老师编写,荆门职业技术学院的王华强老师参加了本书中有关章节内容的编写。

由于时间仓促,水平有限,不正之处敬请读者批评指正。

编者

2003年12月

目 录

第 1 章 常用半导体器件	(1)
1.1 半导体的基本知识	(1)
1.1.1 半导体及其特性	(1)
1.1.2 本征半导体	(1)
1.1.3 掺杂半导体	(3)
1.1.4 PN 结及其单向导电性	(4)
1.2 半导体二极管	(7)
1.2.1 基本结构	(7)
1.2.2 伏安特性	(7)
1.2.3 主要参数	(8)
1.3 特殊二极管	(9)
1.3.1 稳压管	(9)
1.3.2 光电二极管	(10)
1.3.3 发光二极管	(11)
1.4 半导体三极管	(11)
1.4.1 三极管的结构和分类	(11)
1.4.2 三极管的电流分配与放大原理	(12)
1.4.3 三极管的特性曲线	(15)
1.4.4 三极管的主要参数	(18)
1.4.5 温度对三极管参数的影响	(19)
1.5 场效应管	(20)
1.5.1 结型场效应管	(20)
1.5.2 绝缘栅型场效应管	(23)
1.5.3 场效应管的使用知识	(26)
1.6 晶闸管	(27)
1.6.1 普通晶闸管	(28)
1.6.2 双向晶闸管	(33)
1.7 单结晶体管	(35)

1.7.1 单晶体管的结构和工作原理	(35)
1.7.2 单晶体管的简易测量	(36)
本章小结	(37)
思考题与习题	(38)
第2章 放大电路基础	(42)
2.1 放大电路的基本概念	(42)
2.1.1 放大电路的用途及分类	(42)
2.1.2 放大电路的主要性能指标	(43)
2.2 基本放大电路	(45)
2.2.1 基本放大电路的组成	(45)
2.2.2 设置静态工作点的必要性	(46)
2.3 放大电路的基本分析方法	(49)
2.3.1 直流通路与交流通路	(50)
2.3.2 静态工作点的估算	(50)
2.3.3 图解法则	(51)
2.3.4 微变等效电路法	(52)
2.4 放大电路工作点的稳定	(56)
2.4.1 温度变化对工作点的影响	(56)
2.4.2 工作点稳定的典型电路	(57)
2.4.3 工作点稳定的电路分析	(57)
2.5 共集电极电路	(59)
2.5.1 电路组成	(59)
2.5.2 电路分析	(60)
2.5.3 共集电极电路的应用	(61)
2.5.4 共基极放大电路	(61)
2.6 场效应管共源极放大电路	(62)
2.6.1 场效应管放大电路的偏置	(62)
2.6.2 静态工作点的分析	(64)
2.6.3 动态工作点的分析	(64)
2.7 多级放大电路	(66)
2.7.1 多级放大电路的耦合方式	(66)
2.7.2 多级放大电路的动态分析	(68)
2.8 放大电路的频率特性	(69)

2.8.1 影响频率特性的主要因素	(69)
2.8.2 单级 RC 共射放大电路的频率特性	(71)
2.8.3 多级放大电路的频率特性	(71)
本章小结	(72)
思考题与习题	(73)
第 3 章 负反馈放大电路	(79)
3.1 概述	(79)
3.1.1 负反馈的基本概念	(79)
3.1.2 负反馈放大电路的方框图	(81)
3.1.3 负反馈放大电路增益的一般表达式	(82)
3.2 负反馈放大电路的分类及判别	(83)
3.2.1 负反馈的组态及方框图	(83)
3.2.2 反馈的类型及性质判别	(85)
3.2.3 判别反馈类型举例	(87)
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	(89)
3.3.1 提高增益的稳定性	(89)
3.3.2 减小非线性失真和展宽通频带	(90)
3.3.3 改变输入电阻和输出电阻	(92)
3.4 负反馈放大电路的性能分析	(96)
3.4.1 单级负反馈放大电路的分析	(96)
3.4.2 深度负反馈条件下闭环增益的估算	(101)
本章小结	(104)
思考题与习题	(105)
第 4 章 功率放大器	(110)
4.1 概述	(110)
4.2 变压器耦合功率放大器	(111)
4.2.1 乙类推挽功率放大器的工作原理	(113)
4.2.2 输出功率、效率和管耗	(115)
4.2.3 交越失真	(119)
4.3 无变压器功率放大电路	(121)
4.3.1 互补对称电路的基本工作原理	(121)
4.3.2 单电源互补对称功率放大电路	(122)

4.3.3	复合互补式 OTL 电路	(123)
4.3.4	双电源互补对称功率放大电路	(124)
4.3.5	BTL 电路简介	(126)
4.4	集成功率放大器简介	(127)
4.4.1	4100 集成音频功率放大器	(127)
4.4.2	5G37 集成音频功率放大器	(129)
	本章小结	(130)
	思考题与习题	(130)
第 5 章	集成运算放大电路	(132)
5.1	直接耦合式放大电路和差动放大电路	(132)
5.1.1	直接耦合式放大电路的特点	(132)
5.1.2	基本差动放大电路	(134)
5.1.3	常用差动放大电路	(136)
5.2	集成运算放大电路简介	(141)
5.2.1	集成运算放大电路的组成、符号和电路模型	(141)
5.2.2	集成运算放大电路的主要参数	(143)
5.2.3	集成运算放大电路的电压传输特性	(145)
5.3	基本运算电路	(147)
5.3.1	反相输入比例运算电路	(147)
5.3.2	同相输入运算电路	(148)
5.3.3	差动输入运算电路	(149)
5.4	集成运算放大电路的应用	(151)
5.4.1	模拟信号的运算	(151)
5.4.2	电压比较电路	(156)
5.4.3	方波发生电路	(160)
5.4.4	集成运算放大电路应用举例	(163)
	本章小结	(169)
	思考题与习题	(170)
第 6 章	正弦波振荡电路	(175)
6.1	振荡电路的用途和振荡条件	(175)
6.1.1	自激振荡的条件	(175)
6.1.2	振荡电路的组成	(176)

6.2 LC 振荡电路	(177)
6.2.1 变压器反馈 LC 振荡电路	(177)
6.2.2 三点式 LC 振荡电路	(179)
6.3 RC 振荡电路	(182)
6.4 石英晶体振荡电路	(184)
6.4.1 正弦波振荡电路的频率稳定问题	(184)
6.4.2 石英晶体的基本特性与等效电路	(184)
6.4.3 石英晶体振荡电路	(186)
本章小结	(188)
思考题与习题	(189)
 第 7 章 直流电源	(193)
7.1 半导体二极管单相整流电路	(193)
7.1.1 单相半波整流	(193)
7.1.2 单相全波整流	(195)
7.1.3 单相桥式整流	(197)
7.2 滤波电路	(199)
7.2.1 电容滤波	(199)
7.2.2 电感滤波	(202)
7.2.3 复式滤波	(202)
7.3 稳压电路	(205)
7.3.1 稳压管稳压电路	(205)
7.3.2 晶体管稳压电路	(207)
7.4 晶体管稳压电路的改进措施	(211)
7.4.1 典型电路存在的不足	(211)
7.4.2 提高稳定性能的措施	(211)
7.5 集成稳压器及开关稳压电源	(216)
7.5.1 集成稳压器	(216)
7.5.2 开关稳压器简介	(220)
7.5.3 串联型开关稳压器	(220)
7.5.4 并联型开关稳压器	(222)
7.6 可控硅整流电路	(223)
7.6.1 单相半控桥式整流电路	(224)
7.6.2 三相半控桥式整流器	(225)

7.6.3 逆变、变频与交流调压器	(228)
本章小结	(230)
思考题与习题	(230)
参考文献	(234)

第 1 章 常用半导体器件

【内容提要】 本章首先介绍半导体的基本知识,本征半导体与掺杂半导体在导电性能上的区别,PN 结的形成过程及其单向导电特性;然后介绍在电子技术中广泛应用的半导体二极管、三极管、场效应管和晶闸管的工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 半导体及其特性

半导体是现代电子技术最重要的硬件材料。小到二极管、三极管、场效应管,大到大规模、超大规模集成电路,其核心材料都是半导体。

所谓半导体,顾名思义,就是它的导电能力介于导体和绝缘体之间的物体,如硅、锗、硒等都是半导体。半导体之所以能得到广泛的应用,并不仅仅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。

①杂敏性 在纯净的半导体中掺入某种特定的微量元素后,其导电能力就可以增加几十万乃至几百万倍。利用这种特性可做成各种不同用途的电子器件,如二极管、三极管、场效应管、晶闸管等。

②热敏性 当环境温度增高时,半导体的导电能力要增强很多。利用这种特性可以做成各种热敏电阻。

③光敏性 当半导体受到光照时,它们的导电能力也会增强很多;当无光照时,又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性可做成各种光敏电阻。

半导体何以有如此悬殊的导电特性呢?根本原因在于其结构的特殊性。下面介绍半导体物质的内部结构及导电机理。

1.1.2 本征半导体

现在用得最多的半导体材料是硅和锗。图 1-1 所示的是硅和锗的原子结构示意图,它们各有 4 个价电子,都是四价元素。将硅或锗材料提纯并形成单晶体后,其所有原子整齐地排列。其立体结构图与平面示意图分别如图 1-2 和图 1-3 所示。半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体也称为晶体,这就是晶体管名称的由

来。

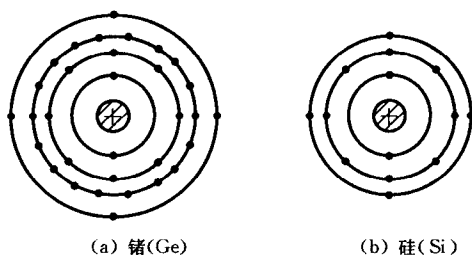


图 1-1 锗和硅的原子结构

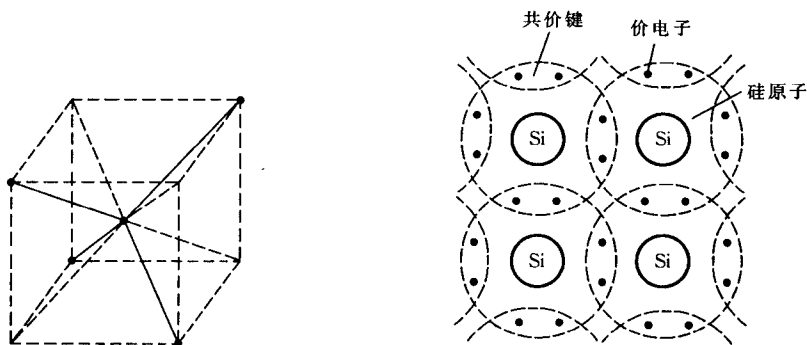


图 1-2 晶体中原子的排列方式

图 1-3 硅单晶中的共价键结构

因为硅、锗外围有 4 个电子,它既可以得到 4 个电子达到稳定状态,也可以失去 4 个电子而达到稳定状态,故其导电性能介于导体与绝缘体之间,称之为半导体。

本征半导体就是完全纯净、晶体结构十分完整的半导体。

在本征半导体的晶体结构中,每个原子之间相互结合,构成一种相对稳定的共价键结构,如图 1-3 所示。

在共价结构中,原子最外层的 8 个电子虽处于较稳定的状态,但共价键中的电子还不像在绝缘体中的价电子那样被束缚得那样紧,在获得一定能量(温度升高或光照)后,即可挣脱原子核的束缚,成为自由电子。温度愈高,产生的自由电子就愈多。这种激发叫本征激发。

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,称为空穴。自由电子和空穴总是相伴而生、成对出现、又不断复合的。成对出现的电子和空穴被称为电子-空穴对。在外电场的作用下,有空穴的原子就可以吸引相邻原子中的价电子,填补这个空穴。同时,在失去了一个价电子的相邻原子的共价键中又

出现另一个空穴,它也可以由相邻原子中的价电子来递补,而在下一个原子中又出现一个空穴,如此继续下去,就好像空穴在运动。而空穴的运动方向与价电子运动的方向相反,空穴运动相当于正电荷的运动。

当半导体两端加上外电压时,半导体中将出现两部分电流。一部分是自由电子做定向运动所形成的电子电流,另一部分是仍被原子核束缚的价电子递补空穴所形成的空穴电流。在半导体中同时存在着电子导电和空穴导电两种形式,这是半导体导电方式的最大特点,也是半导体和金属在导电原理上的本质差别。

自由电子和空穴都称为载流子。载流子数量与温度有关,温度越高载流子的数目就愈多。

最后要特别强调:在半导体材料中,载流子是可以移动的,而带正电(或带负电)的原子核是不能移动的。

1.1.3 掺杂半导体

在本征半导体中载流子数量极少,导电能力很低。如果在其中掺入某种微量元素,则掺杂后的半导体(杂质半导体)的导电性能将大大增强。

1. N型半导体

在本征硅(Si)内掺入微量的五价元素磷(P)后,由于磷原子有5个价电子,其中4个与周围的硅原子的价电子组成共价结构,剩下的1个价电子受原子核的束缚甚弱而成为自由电子,如图1-4所示。

这样每掺一个磷原子就多出一个自由电子。在这样的半导体中,自由电子数远超过空穴数,电子为多数载流子(简称多子),空穴为少数载流子(简称少子),它的导电以电子为主,故这种半导体称为电子型(N型)半导体。

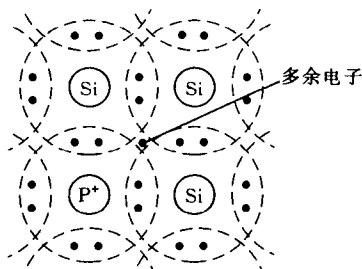


图 1-4 硅晶体中掺磷出现自由电子

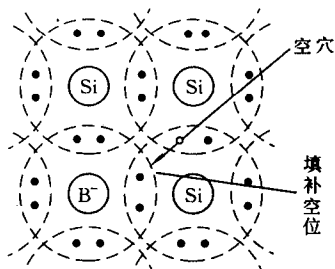


图 1-5 硅晶体中掺硼出现空穴

2. P型半导体

在本征半导体(如硅)内掺入三价元素硼(B)后,将发生另外一种情况。具有三

价电子的硼原子与周围的硅原子组成共价键时,尚有一个空位未被填满,如图 1-5 所示,其邻近硅原子的价电子很容易填补这个空位,从而产生一个空穴及一个带负电的杂质离子。在这种半导体中,空穴数目远大于电子数,空穴为多子,电子为少子,它的导电以空穴为主,故称为空穴型(P 型)半导体。

由于掺杂半导体载流子数目比本征半导体的多得多,所以在同样的温度条件下,它的导电能力比本征半导体的高得多。掺杂半导体的导电主要是多子的导电,而少子的导电几乎可以忽略不计。

应该指出的是,无论 N 型还是 P 型半导体,它们虽都有一种载流子占多数,但是就整块半导体而言,它既没有失去电子,也没有获得电子,掺杂并没有破坏整块半导体内正、负电荷的平衡状态,故杂质半导体是呈电中性的,即对外是不带电的。

1.1.4 PN 结及其单向导电性

单纯研究 P 型或 N 型半导体是没有意义的。若在一块完整的晶片上,通过一定的掺杂工艺,一边形成 P 型半导体,另一边形成 N 型半导体,那么在 P 型半导体和 N 型半导体的结合面,便形成一个特殊的带电薄层,这个薄层称为 PN 结。PN 结的形成是至关重要的,因为它是构成半导体二极管、三极管、场效应管、可控硅和半导体集成电路等多种半导体器件的基础。

1. PN 结的形成过程

(1) 内电场的建立

由于 P 型半导体和 N 型半导体的结合面两侧的同类型载流子存在浓度的差别,因此载流子浓度高的一侧的载流子就会向浓度低的一侧扩散。如 P 区多子空穴的浓度比 N 区少子空穴的浓度高得多,于是 P 区空穴就会向 N 区扩散。同理 N 区的自由电子也会向 P 区扩散。扩散的结果是 P 区空穴进入 N 区后,与 N 区的电子复合,这样在 P 型一侧空穴减少,出现了带负电的离子层;同理在 N 区一侧电子减少,出现了带正电的离子层,如图 1-6 所示。

前面已经介绍过,带电离子固定排列在晶格的结点上,不能自由移动,所以并不参与导电,这样在界面两侧形成一个带异性电荷的薄层,称为空间电荷区,即所谓的 PN 结。这个空间电荷区的离子形成一个空间电场,称为内电场。空间电荷区中的正、负电荷产生的电位差称为接触电位差或势垒。

(2) 内电场对多数载流子的作用

由图 1-6 可知,多子扩散运动的方向与内电场方向相反,故多子的扩散运动将建立内电场,而内电场反过来又会阻碍多子扩散运动的进行,如图 1-7(a)所示。

可见,随着扩散的不断进行,交界面两侧积聚的正、负离子数不断增多,扩散运

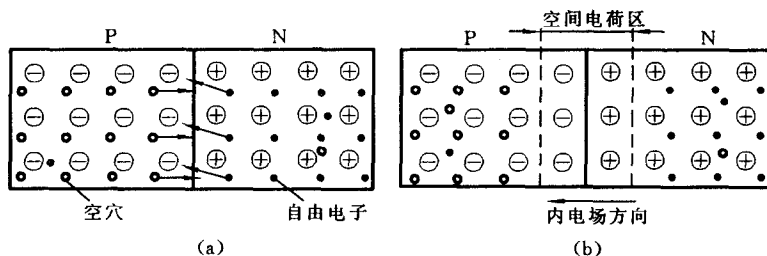


图 1-6 PN 结的形成

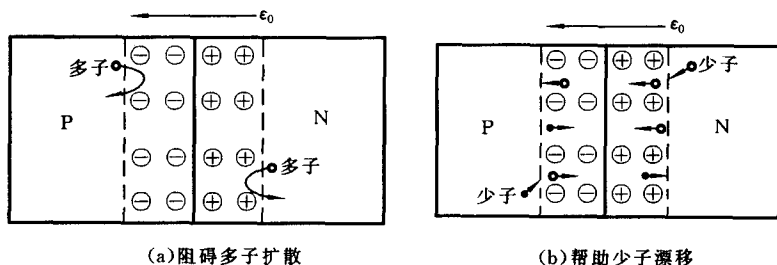


图 1-7 内电场的作用

动就会逐渐减弱。由于内电场对扩散运动有阻碍作用,因此,空间电荷区中的正、负离子层又称为阻挡层。在这个区域内,多子扩散到对方因复合而消耗殆尽,所以又称为耗尽层。

(3) 内电场对少数载流子的作用

由于有空间电荷区的出现,故当 P 区的少子(电子)和 N 区的少子(空穴)一旦到达空间电荷区边缘,就会被内电场拉向对方,形成与扩散运动相反的运动。少子在内电场的作用下的这种运动叫做漂移运动,如图 1-7(b)所示。

故 PN 结内同时存在着两种运动,即多子的扩散运动和少子的漂移运动。

(4) PN 结的形成

内电场有两个作用:阻碍多子继续扩散,使扩散运动削弱;帮助少子不断漂移,使漂移运动增强。当扩散电流减小与漂移电流增大而达到二者大小相等、方向相反而互相抵消时,从宏观上看,在交界面处没有电流,空间电荷区不再加宽,PN 结的厚度稳定不变,达到暂时的动态平衡,称为平衡 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

上面介绍的是 PN 结在没有外加电压时的情况,这时半导体中的扩散和漂移处于动态平衡。下面介绍在 PN 结上加上外部电压时的情况。