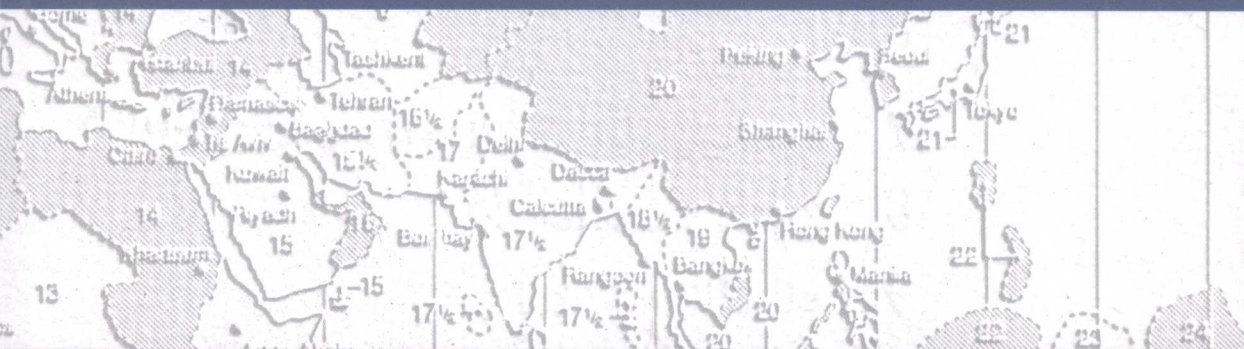




卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



模拟电子技术

ANALOG ELECTRONIC
TECHNOLOGY

黄 法 袁照刚 主 编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·21世纪高职高专精品规划教材

模拟电子技术

Analog Electronic Technology

主 编 黄 法 袁照刚

副主编 王 芹 姜 荣



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要由半导体二极管及其应用、晶体三极管及其应用、集成运算放大器及其典型应用、功率放大电路及其应用、负反馈电路、信号产生电路、直流稳压电源及其应用和电子电路识图基础等八个学习模块组成。每一个学习模块均由四个单元组成(基础理论单元、基本应用单元、知识拓展单元和技能训练单元),且每个单元都配有思考与讨论题。此外,每个学习模块都带有学习目的和学习建议,并配有相应的典型练习题。

本书可作为高职高专院校电气、电子、通信、计算机、机电一体化等专业的模拟电子技术、电子电路基础、低频电子线路等课程的教材,也可作为技术培训教材,还可供相关工程技术人员和业余爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/黄法,袁照刚主编. —天津:天津大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-5618-2783-3

I. 模… II. ①黄…②袁… III. 模拟电路-电子技术 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137886 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm×239mm

印 张 21

字 数 448 千

版 次 2008 年 9 月第 1 版

印 次 2008 年 9 月第 1 次

印 数 1-2 000

定 价 34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

为了更好地适应高职高专教育教学改革和发展的需要,有效地提高教育教学质量,实现高技能人才的培养目标,作者根据长期从事电气自动化、应用电子、机电一体化等技术领域的实践工作经验及相关专业课程的教学经验,编写了这本基于工作过程、以项目为导向、采用任务驱动式及集“教、学、做”于一体的“模拟电子技术”教材。

模拟电子技术既是一门理论性较强、覆盖面很广的专业基础课,也是一门紧贴实践工作且又十分抽象的应用技术。因此,该课程历来也被学生称为“魔术之王”。本书体系是在多年教学改革与实践的基础上,吸收当前一些教材改革中的成功举措并进行实践创新而形成的。本书的特点是:理论和实践紧密结合、应用能力与创新能力紧密结合,采用任务驱动教学法,以项目为导向,力求强化学生的识图能力及实践动手能力。

其改革的基本思路是:①以应用为目的,用工程观点删繁就简,突出重点,加强基本概念的叙述和基本技能的培养,提高实用性;②将课堂讲授、课内讨论、课后作业和技能训练有机结合并融为一体,充分调动学生学习的积极性和主动性,加深对理论知识的理解与掌握;③加强理论教学与实践教学的结合,注意理论内容与实践内容的分工和互补,实现教、学、做一体化,边讲边练,培养学生的工程思维方法和应用所学知识解决实际问题的能力。根据上述思路,本书在编写中采用了如下一些措施。

(1)结构编排新颖、重点突出。将模拟电子技术课程按学习内容分为八大学习模块,每一个模块都由四个单元组成,即基础理论单元、基本应用单元、知识拓展单元和技能训练单元。根据理论讲授、讨论、自学、作业及技能训练等教学环节安排内容,各有侧重又互相联系,以利于教学方法的改革,并使能力的培养贯穿于整个教学过程。通过对各单元的学习,充分体现学生学习知识的系统性(基础理论单元),使理论与实践的结合更加紧密(基本应用模块);增强学生的自学能力和猎取新知识的欲望(知识拓展单元),重点培养学生的应用能力与创新能力(技能训练单元)。

(2)一条主线贯穿始终。以调幅收音机电路为主线,进行知识的展开。本着学有所用的原则,将每一个功能电路对应一个学习任务(原理知识);每完成一个学习任务,都配备相应的思考训练和实践训练,在此基础上进行实践内容的拓展,内容浅显易懂,从而加深学生对理论知识的理解。

(3)突出对学生识读电路图能力的培养。识读电路图是电气工程技术人员必备的基本能力。本书在最后一个模块重点讲述了电路分析的方法与技巧,并通过各种实例来强化训练,以提高学生的电路图识读和电路分析等能力。

(4)将理论教学与实践教学内容结合在一起编写,加强理论与工程应用的结合,注意理论教学素材与实践教学素材的分工和互补,形成理论与实践训练相结合的

教学模式。每个模块编写的电路调整测试及技能训练项目,按最基本的调整测试、简单设计安装调试和复杂的综合应用的次序而渐进地安排;注意加强集成电路的应用训练,编入部分新电子技术应用电路的实训;既有必讲必做的内容,也有自学选做的内容。通过具体项目的设计、制作与调试等训练,强化学生的应用能力,培养学生的创新能力。

(5)加强了技能训练的自我考评,切实提高技能水平。以往学生在教师的指导下完成某个训练项目,因没有考评标准,而无法考证学生的掌握程度如何。本书中每一个能力训练模块都配有考评内容和评分标准,通过考评,可强化学生在实际应用中的规范性,提高学生的职业素养。

(6)附录中列出了电阻器、电容器、电感器等常用元器件的使用知识和常用电子仪器仪表的使用方法,并配备了训练用的元器件清单,从而形成完整的实践与训练体系。

本书由黄法、袁照刚任主编,负责全书的统稿,王芹、姜荣任副主编,负责实践与训练内容的统稿。模块一、二、三及各模块技能考评标准由黄法、王芹编写,模块五、七、八由姜荣、周文斌编写,模块四、六及附录由袁照刚、徐美燕编写,左翠红副教授协助主编对全书复习题、习题进行整理和试作,并绘制了大部分图稿。

本书在编写过程中得到广大兄弟院校师生及企业、行业界人士的关心和支持,威海北洋电器集团公司高明等工程技术人员对本书提出了许多宝贵意见和建议,在此一并致以衷心的感谢。书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者给予批评指正,不胜感激。

编者

2008年5月

目 录

绪论	1
模块一 半导体二极管及其应用	4
基础理论单元	4
任务 1.1 半导体二极管的认知	4
任务 1.2 认识半导体及其特性	6
任务 1.3 熟悉半导体二极管	12
基本应用单元	16
任务 1.4 掌握二极管的基本应用电路	16
任务 1.5 熟悉几种特殊二极管及其应用	23
知识拓展单元	27
任务 1.6 了解 SMT 与微型二极管	27
技能训练单元	29
任务 1.7 基本技能训练	29
任务 1.8 专项技能训练	36
小结	37
习题	38
模块二 晶体三极管及其应用	41
基础理论单元	42
任务 2.1 晶体三极管的认知	42
任务 2.2 熟悉晶体三极管的工作原理	43
基本应用单元	50
任务 2.3 掌握三极管的主要参数及其基本应用	50
知识拓展单元	71
任务 2.4 了解其他类型的三极管	71
任务 2.5 了解场效应管及其基本应用	73
任务 2.6 了解多级放大器	82
技能训练单元	85
任务 2.7 基本技能训练	85
任务 2.8 专项技能训练	96
小结	98
习题	100
模块三 集成运算放大器及其典型应用	103

基础理论单元	103
任务 3.1 了解集成电路及集成运算放大器的基本构成	103
任务 3.2 了解直接耦合放大器的构成及其工作特点	104
任务 3.3 熟悉差动放大电路的工作原理及其作用	107
任务 3.4 掌握运算放大器的主要参数及其性能特点	113
基本应用单元	116
任务 3.5 熟悉集成运算放大器的线性应用	116
任务 3.6 掌握运算放大器的非线性运用	129
知识拓展单元	130
任务 3.7 进一步了解集成电路	130
技能训练单元	136
任务 3.8 基本技能训练	136
任务 3.9 专项技能训练	141
小结	143
习题	144
模块四 功率放大电路及其应用	147
基础理论单元	147
任务 4.1 认识功率放大电路	147
任务 4.2 了解功率放大器的特点及分类	148
任务 4.3 熟悉双电源互补对称功率放大电路	150
任务 4.4 熟悉 OTL 功率放大电路的工作原理	153
基本应用单元	156
任务 4.5 掌握常用集成功率放大器的应用	156
任务 4.6 功放管的安全使用	160
知识拓展单元	161
任务 4.7 不同功率放大器的特点	161
任务 4.8 其他功率放大电路在实际中的应用	163
技能训练单元	166
任务 4.9 基本技能训练	166
任务 4.10 专项技能训练	168
小结	170
习题	170
模块五 负反馈电路	175
基础理论单元	175
任务 5.1 了解负反馈放大电路的组成与基本原理	175
任务 5.2 熟知负反馈放大电路的基本类型	178

任务 5.3 掌握负反馈对放大电路性能的影响	184
任务 5.4 了解深度负反馈及其自激振荡	188
基本应用单元	191
任务 5.5 掌握负反馈电路的应用	191
知识拓展单元	192
任务 5.6 了解锁相环电路的工作原理	192
技能训练单元	194
任务 5.7 基本技能训练	194
任务 5.8 专项技能训练	196
小结	199
习题	200
模块六 信号产生电路	203
基础理论单元	203
任务 6.1 认识振荡电路	203
任务 6.2 了解振荡电路产生振荡的条件	204
任务 6.3 熟悉 RC 正弦波振荡电路及其工作原理	207
任务 6.4 熟悉 LC 正弦波振荡电路及其工作原理	210
任务 6.5 熟悉石英晶体振荡电路及其应用	214
任务 6.6 了解非正弦信号产生电路的工作原理	217
基本应用单元	224
任务 6.7 信号产生电路的应用	224
知识拓展单元	226
任务 6.8 接触无线电(基础知识)	226
技能训练单元	227
任务 6.9 基本技能训练	227
任务 6.10 专项技能训练	229
小结	232
习题	232
模块七 直流稳压电源及其应用	235
基础理论单元	235
任务 7.1 熟悉直流电源的组成及其应用	235
任务 7.2 熟悉稳压电路	239
基本应用单元	244
任务 7.3 熟悉三端固定输出集成稳压器的应用	244
知识拓展单元	247
任务 7.4 解读开关型稳压电源	247

任务 7.5 了解晶闸管及其应用	251
技能训练单元	255
任务 7.6 基本技能训练	255
任务 7.7 专项技能训练	256
小结	258
习题	259
模块八 电子电路识图基础	261
基础理论单元	261
任务 8.1 了解电子电路识图的基本概念	261
任务 8.2 掌握电子电路识图的方法	265
基本应用单元	270
任务 8.3 初步掌握电路识图技巧	270
技能训练单元	280
任务 8.4 识图与装配训练	280
附录 A 常用电子元器件	287
A1 电阻器	287
A2 电容器	294
A3 电感器	298
A4 变压器	299
A5 开关及继电器	302
附录 B 专用仪器仪表	308
B1 万用表的使用	308
B2 示波器的使用	315
参考文献	328

绪 论

一、电的应用和特点

在现代工业、农业、交通、通信、国防以及日常生活中,电的应用极为广泛。电气化的程度已成为衡量一个国家生产技术和综合国力的主要标志之一。

电的应用有两大方面:一是作为一种能量——电能;二是作为一种信息——电信号(通常把电压、电流等电量的变化统称为电信号)。

电的应用之所以极其广泛,是由于它具有下列一些重要的特点。

1. 转换容易

作为能量,电能可以方便地由水能、热能、化学能、原子核能等转换而来,成为廉价的动力来源;电能又很容易转换成人们需要的其他各种形式的能量,如机械能、热能、光能、化学能等。作为信息,电信号与各种非电信号(如温度、压力、流量等的变化)之间的相互转换也很容易实现。

2. 传输方便

作为能量,高电压远距离输送电能时,损失小、效率高,并且容易分配到各个用电设备上去。作为电信号,不但可在线路中迅速、稳定、准确地传输,而且可用电磁波的形式在空间传播。

3. 便于控制和测量

电能或电信号的有关量值便于准确迅速地进行控制和测量,利用电信号还可以对电量以及各种非电量进行遥控和遥测,这些都为自动化生产提供了必要的有利条件。

作为电能的应用,电动机、电热器、电光源、电焊、电解与电镀等在生产和生活中早已十分普及。作为电信号的应用,生产检测与控制、科技实验与探测、通信与广播、电影与电视等也日益广泛。

生产和科学技术的高度发展,要求人们能迅速而准确地计算和处理日益浩繁的各种数据信息。电子计算机就是应用电信号来模拟、储存、传送、处理和控制在各种数据和信息的。半导体大规模集成电路的问世,极大地促进了微型电子计算机的发展,为在生产与生活中普及运用电子计算机、实现高度自动化和发展人工智能开拓了广阔的道路。

二、电气化对我国社会主义建设的作用

建国以来,党和政府非常重视电气化事业的发展,电气工业体系已日臻完备,产品的种类和数量日益增多,质量逐步提高。300 MW 双水内冷发电机的制成,刘家峡、葛洲坝等大型水电站和秦山、大亚湾核电站的建设,500 kV 超高压输电线路的架设并跨越长江,银河巨型电子计算机的研制成功,微型计算机的软件开发和普及应用,通信卫星多次成功发射,航天载人飞船的成功发射,超导研究的某些方面已居世界领先地位等等,都标志着我国电气化事业正迈向世界先进行列。

电气化是生产过程自动化的前提,实现自动化可以改善劳动条件、减轻劳动强度,大大提高劳动生产效率,改进产品质量。电气化对科学技术和文化教育的发展也起着有力的推动作用。因此,电气化对于加速我国社会主义建设,实现四个现代化,具有十分重大的意义。

三、学习模拟电子技术的目的和方法

模拟电子技术是一门技术基础课程,其内容主要包括半导体基础、半导体器件及其应用、典型电路分析及其应用等。

工科电类专业设置这门课程的目的是:使学生在学习物理知识和电路分析知识的基础上,掌握模拟电子技术的基础理论知识和应用技能,初步受到必要的简单计算和基本技能的训练,能正确使用与维护本专业生产中常见的电气设备,为从事工程技术工作打下基础。

模拟电子技术是一门理论性和实用性都比较强、与生产实际联系密切的课程,因此在学习中应注意以下五点。

①要牢固掌握基础理论知识,必须循序渐进、温故知新,注意各部分知识的内在联系。对抽象的概念要弄清其物理意义;作数学推演和运算时,注意掌握推演和运算过程的物理含义及分析方法,不要死记硬背。

②要理论与实际紧密结合。既要联系实际思考理论问题,又要学会利用理论来分析实际问题。必须重视实验实训,通过实验巩固和加深对书本知识的理解;通过一定的电路制作把所学到的理论知识应用到实际工程之中,学会一些基本的电子技术操作技能和仪表使用等。

③要掌握好重点。对教学大纲中规定的“三基”内容,即电类专业的工程技术人员必须具备的电子电气知识,应切实掌握;在这个共同的基础上,再结合专业需要学习有关的内容。也就是说,首先要注意通用性,然后再有一定的针对性。

④进课堂或实验实训室之前应做好必要的预习;课堂上专心听讲、积极思考,可作简要的课堂笔记;课后及时复习,在复习的基础上自学某些内容,并独立完成课外作业、实验实训报告等。

⑤实验实训时要认真仔细,积极动手、善于动脑,遵守规程,注意安全。整个学习过程中,随时培养和提高自己分析问题、解决问题以及自学的能力,根据所学理论知识进行课外科技小制作等,并具有一定的创新设计能力。

熟练才能生巧,站得高才能看得远。模拟电子技术虽然是一门手脑并用的课程,但只要通过各种典型电路的应用及实际工程系统项目的设计与制作等训练,就能不断掌握技能、积累经验并提高能力。



单元实验基础

以专业管第二单元半 [1] 卷五

第一章 绪论 1.1 课程性质 1.2 课程目标 1.3 课程结构 1.4 课程特点 1.5 课程要求 1.6 课程评价 1.7 课程实施 1.8 课程总结

以专业管第二单元半 [1] 卷五

第二章 电路分析 2.1 电路模型 2.2 电路定理 2.3 电路计算 2.4 电路设计 2.5 电路实验 2.6 电路应用 2.7 电路总结

模块一 半导体二极管及其应用

学习目的

1. 熟悉半导体二极管的伏安特性和主要参数;了解半导体二极管的结构和种类;掌握半导体二极管电路的基本分析方法;能够正确选择实际电路所需的二极管。
2. 熟悉稳压二极管的伏安特性及主要参数,并能够正确应用。
3. 能够使用普通二极管或特殊二极管进行一定功能电路的设计、安装、调试与检测。
4. 了解变容二极管、快速恢复二极管等的特性;了解SMT与微型二极管的基本知识及其应用。

学习建议

重点理解半导体二极管的伏安特性曲线;在一定条件下将二极管进行理想化,方可进行相关电路的分析、设计与制作;项目训练时一定要规范、仔细、认真,养成良好的职业素养。



基础理论单元

任务 1.1 半导体二极管的认知

图 1.1 是一台超外差式收音机的实际电路。该电路中有不同的元器件,它们通过不同的组合,构成各种功能电路。除了电阻、电容、电感等常见器件外,还有 6 只具有不同功能的半导体器件,有二极管、三极管,也有集成电路等。本任务针对二极管的一些特性及应用作一简单介绍。

一、半导体二极管的种类和作用

半导体二极管是最早诞生的半导体器件之一,其应用非常广泛。特别是在各种电子电路中,利用不同参数的二极管和一定参数的电阻、电容、电感等元器件进行合

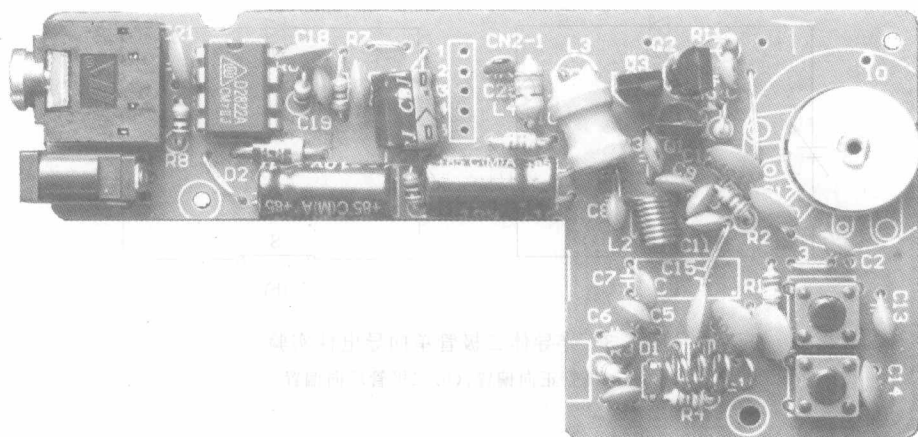


图 1.1 超外差式收音机的电路板

理的连接,构成不同功能的电路,可以实现对交流电流整流,对调制信号检波、限幅和箝位以及实现对电源电压的稳压等多种作用。无论在常见的收音机电路中还是在其他家用电子产品或工业控制电路中,都可以找到二极管的踪迹。图 1.2 所示是几种在实际当中应用最多的二极管,例如整流二极管、发光二极管、光电二极管、稳压二极管、开关二极管等。

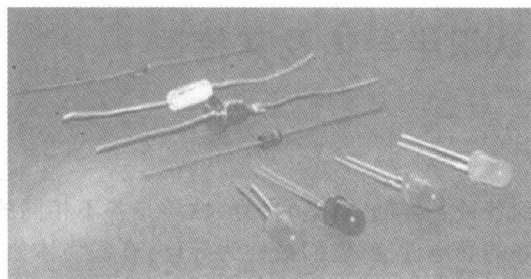


图 1.2 各种不同的二极管

二、二极管的导电特性

二极管和以往学习的电子器件在导电功能上有什么不同呢?可以通过一个实验来验证一下。取一个 1~5 V 可调的直流稳压电源、一只手电灯泡、一只普通的整流二极管、一只开关和若干导线,在面包板上构建如图 1.3 所示的电路,通过实验可以发现:

①当二极管的一端接电源的正极,而另一端接电源的负极时,灯泡发光,说明电路中有电流流过,二极管是导通的;

②当二极管的两端反过来接电源的正、负极时,灯泡不发光,说明电路中没有电流流过,二极管是截止的。

结论:二极管具有单向导电特性。

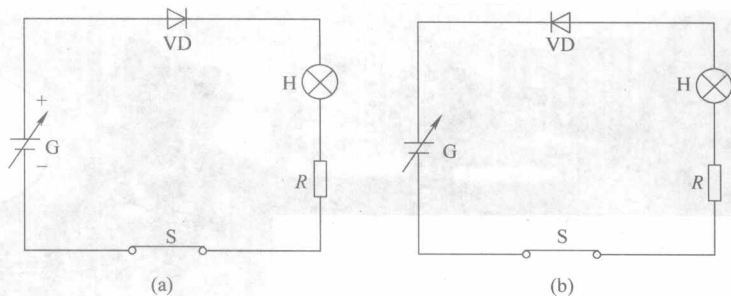


图 1.3 半导体二极管单向导电性实验

(a) 二极管正向偏置; (b) 二极管反向偏置

思考与讨论

1.1.1 通过两个电路的对比实验,你认为二极管在电路中具有什么作用?你学过的电工电子器件还有什么与二极管的作用相类似?试举例说明。

1.1.2 二极管的单向导电特性是在什么条件下体现出来的?你认为它的优点是什么?

任务 1.2 认识半导体及其特性

一、半导体的特性

在日常生活中,经常看到或用到各种各样的物体,它们的性质是各不相同的。有些物体,如钢、银、铝、铁等,具有良好的导电性能,它们被称为导体;有些物体如玻璃、橡皮和塑料等不易导电,它们被称为绝缘体(或非导体);还有一些物体,如锗、硅、砷化镓及大多数的金属氧化物和金属硫化物,它们既不像导体那样容易导电,也不像绝缘体那样不易导电,而是介于导体和绝缘体之间,它们叫做半导体。绝大多数半导体呈晶体结构,它们内部的原子都按照一定的规律排列,因此半导体材料也被称为晶体,这也就是晶体管名称的由来。

一块化学成分纯净、物理结构完整的半导体叫做**本征半导体**。半导体在物理结构上有多晶体和单晶体两种形态,制造半导体器件必须使用单晶体,即整块半导体材料是由一个晶体组成的。制造半导体器件的半导体材料纯度要求很高,要达到99.999 999 9%,常称为“九个9”。通常,在实际应用中遇到的大多是P型半导体或N型半导体。

世界上的任何物质都是由原子构成的。原子中有一个原子核和围绕原子核不停旋转的电子。不同元素的原子所包含的电子数目是不同的。在原子结构中,最外层

的电子是不稳定的,受原子核的束缚力最小,容易脱离原子核的束缚而成为自由电子。最外层的电子通常叫价电子。在纯硅(或锗)的原子结构中,最外层都是四个价电子,所以硅和锗是四价元素。

晶体内的原子很整齐地排列着,各个原子间有相互排斥的力量,每个原子除了吸引自己的价电子外,还吸引相邻原子的价电子,两个相邻原子的价电子便成对地存在。这一对电子同时受这两个原子核的吸引,为它们所“共有”。这两个相邻原子也通过这个电子对被联系在一起。这样,电子对就好像起了键(联结)的作用,称为共价键。每一个硅(锗)原子以其4个价电子与其他4个原子的价电子组成4个共价键而达到稳定状态,如图1.4所示。

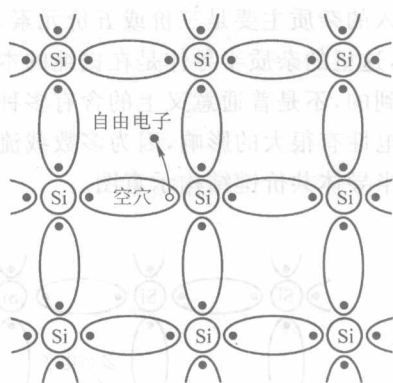


图1.4 共价键结构与空穴产生示意图

当半导体处于热力学温度0 K时,且无外界激发的条件下,物体中没有自由电子。很纯的单晶硅基本不导电。当温度升高到大于0 K时,或受到光的照射等外界激发时,价电子能量增高,有的价电子可以挣脱原子核的束缚,成为自由电子,从而可能参与导电。这一现象称为本征激发(也称热激发)。

半导体具有如下特性。

①热敏性。半导体的导电能力随着温度的升高而明显增加。利用半导体的热敏性,可以制成热敏电阻或其他对温度敏感的温度传感器。

②光敏性。光照越强,半导体的导电能力越强。利用半导体的光敏性,可以制成光敏电阻、光电池等各种光敏元件。

③掺杂性。在纯净的半导体晶体中掺入极微量的杂质,就能使其导电性能大幅度地提高。利用半导体的这一特性,可以制成各种不同用途的晶体管和集成电路。

二、杂质半导体

半导体在外力作用下,如温度变化,其中可能会有一个价电子脱离键的束缚,挣脱共价键而跳出来,成为自由电子。这时共价键中出现了空位,这个空位称为空穴,如图1.4所示。由于原子本身正电荷和负电荷相等,故原子失去了电子后,整个原子就带正电荷,称为正离子。正离子容易吸引相邻原子的价电子来填补,电子离开后所留下的空位,使相邻原子中又出现空穴,而这个新出现的空穴,又可能为别的电子去填充。电子这样不断地填充空穴,就使空穴的位置不断地在原子间转移。空穴的转移,实际上也是电子(电荷)的运动,所以也就形成电流,这叫作空穴流。而原来失去的电子,在晶体中运动,形成了电子流。为了便于叙述,今后就认为空穴在运动,而且把它当作一个正电荷来看(实际上是空穴所在的原子呈现一个单位正电荷的电

量)。由于空穴和电子都带有电荷,它们的运动都形成电流,所以就统称它们为载流子(不同于导体的导电方式)。

在本征半导体中掺入某些微量杂质元素,可使半导体的导电性能发生显著变化。掺入的杂质主要是三价或五价元素,掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。要注意,这里的杂质半导体是在提纯的本征半导体中掺入一定浓度的三价或五价元素而得到的,不是普通意义上的含有多种任意杂质的半导体。掺入杂质对本征半导体的导电性有很大的影响,因为多数载流子是由掺入的杂质的浓度决定的。图 1.5 为掺杂半导体共价键结构示意图。

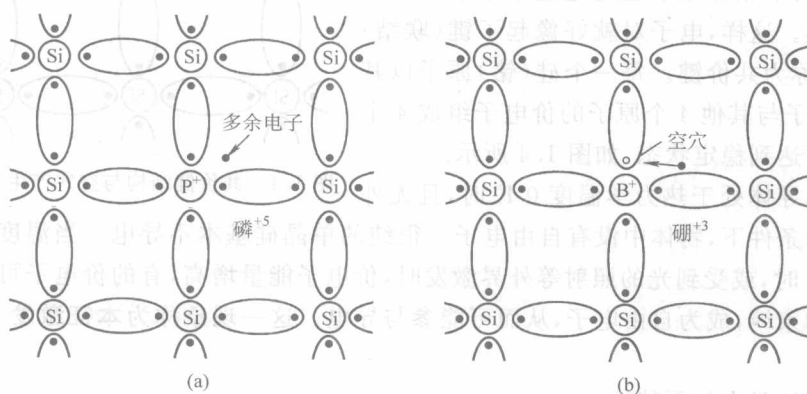


图 1.5 掺杂半导体共价键结构示意图

(a) N 型半导体; (b) P 型半导体

在本征半导体中掺入五价杂质元素,例如磷,使得自由电子的浓度大大增加,由本征激发产生的空穴被复合的机会增多,使空穴浓度减少,称为 N 型半导体,也称电子型半导体。在 N 型半导体中存在自由电子和空穴两种载流子,自由电子为多子,空穴为少子。

在本征半导体中掺入三价杂质元素,如硼、镓、铟等,称为 P 型半导体,也称为空穴型半导体。杂质原子在与周围的四价元素原子形成共价键时因缺少一个价电子而产生一个空位,室温下这个空位极容易被邻近共价键中的价电子所填补, P 型半导体中也存在自由电子和空穴两种载流子,其中空穴载流子是导电的主流,极少的自由电子载流子同时参与导电。

在杂质半导体中,正负电荷数目是相等的,因而整个半导体保持电中性。杂质离子虽然带电荷,但不能移动,所以不是载流子。多子的浓度主要取决于掺入的杂质浓度,而少子的浓度主要取决于温度。

杂质半导体不仅可以大大改善导电性能,而且掺入不同性质、不同浓度的杂质,并使 P 型和 N 型半导体采用不同方式的组合,可以制造出品种繁多、用途各异的半导体器件。