

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

电子技术基础

曾令琴 杜诗超 主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电子技术基础

曾令琴 杜诗超 主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础 / 曾令琴等主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.12

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 7-115-15357-4

I. 电... II. 曾... III. 电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118419 号

内 容 提 要

本教材以培养学生分析问题、解决问题能力和实验动手能力为主导, 将模拟电子技术、数字电子技术和计算机相关知识前后呼应并有机地融为一体, 是技术性很强的一本通用教材。全书内容共分 9 章: 第 1~3 章是模拟电路分析基础; 第 4~7 章是数字电路分析基础; 第 8、9 章作为计算机普及内容。全书行文流畅, 内容先进, 概念清楚, 注重实际, 目标明确, 便于自学。

本书可作为高职高专、高级技工学校的教材, 也可供相关工程技术人员和电子技术爱好者阅读参考。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电子技术基础

-
- ◆ 主 编 曾令琴 杜诗超
 - ◆ 责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.5
字数: 321 千字 2006 年 12 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2006 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-15357-4/TN · 2875

定价: 20.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向, 高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想, 人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国的不深化, 各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置, 越来越关心学生将来的就业岗位, 并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到, 高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时, 能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点, 为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典, 及知识点又相对统一、固定的特点, 采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式, 借助本科老师在理论方面深厚的功底, 在写作质量上进行把关, 高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度, 力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线的技术型人才, 基础课程的教学应以必需、够用为原则, 以掌握概念、强化应用为教学重点, 注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时, 掌握“突出基本概念, 注重技能训练, 强调理论联系实际, 加强实践性教学环节”的原则, 在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例, 强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程, 并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣, 并了解开发过程, 最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训, 从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作, 出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望, 关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正, 提出修改意见, 同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系, 共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

编者的话

21 世纪的今天,科学技术飞速发展,电子产品日新月异,掌握相关电子技术基础知识更是显得至关重要。

为了给教师提供更好的教学用书,提高高等职业教育的质量,我们精心编写了这本适用于高职院校信息类、机械类、环境工程与水文水资源类等非电类专业的《电子技术基础》一书。

本书根据近年来电子技术发展的情况,根据“够用为度,注重实践”的原则,将模拟电子技术和数字电子技术、计算机存储器及数/模接口等内容前后呼应地融为一体,分散难点,加强重点,力求基本概念由浅入深表述清楚、语言精练准确;注意避开高深难懂的理论推导,使其剖析浅显易懂;把握教材内容的实用性,体现电子技术的先进性和前瞻性,较好地反映和适应电子技术与电子工业发展的现状和趋势。本书体现的教学内容及组织体系,凝聚了编者多年来进行教学研究和教学改革的经验 and 体会,可操作性和实用性很强。

本书中的每一章前都有“学习目的和要求”,章后精心编排了体现教学主要知识点的题库式检测题;每一节前均有指导性的“学习目标”,节后设有与学习目标紧密相关的“检验学习结果”;在理论联系实际上编排了与学习内容相关的技能训练。为了达到更为理想的教学效果,编者精心制作了与教材相配套的多媒体教学课件,其中采用了大量的电子器件实物图以加强学习者的感性认识;形象、生动的动画演示强化了对教材中重点、难点的剖析。

全书由曾令琴、杜诗超担任主编,策划了全书内容及组织结构。全书共分 9 章,其中第 1~3 章为模拟电子技术基础,由曾令琴编写;第 4~7 章为数字电子技术基础内容,其中第 4、5 章由史前进编写,第 6、7 章由杜诗超编写;第 8、9 章介绍计算机存储器及模/数与数/模转换,由李宏民编写。

本书作为教学改革的试用教材,结构模式和内容取舍具有一定探索性,书中难免存在一些不妥和错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2006 年 9 月

目 录

第 1 章 半导体基础及常用器件	1
1.1 半导体的基本知识	1
1. 导体、绝缘体和半导体	1
2. 半导体的独特性能	2
3. 本征半导体	2
4. 杂质半导体	5
5. PN 结及其形成过程	6
6. PN 结的反向击穿问题	8
1.2 二极管	9
1. 二极管的基本结构与类型	9
2. 二极管的伏安特性	10
3. 二极管的主要参数	11
4. 二极管的应用	12
1.3 特殊二极管	14
1. 稳压管	14
2. 发光二极管	15
3. 光电二极管	16
1.4 双极型三极管	16
1. 双极型三极管的基本结构和类型	17
2. 双极型三极管的电流放大作用	18
3. 双极型三极管的特性曲线	18
4. 双极型三极管的极限参数	20
1.5 单极型三极管	22
1. MOS 管的基本结构	22
2. 工作原理	23
3. MOS 管使用注意事项	24
第 1 章检测题	25
第 2 章 基本放大电路	29
2.1 基本放大电路的概念及工作原理	29
1. 放大电路的组成原则	30
2. 共发射极放大电路的组成及各部分作用	30
3. 共发射极放大电路的工作原理	31
2.2 基本放大电路的静态分析	33

1. 放大电路静态分析的估算法	33
2. 用图解法确定静态工作点	34
3. 分压式偏置共发射极放大电路静态工作点的估算	36
2.3 基本放大电路的动态分析	37
1. 共发射极放大电路的动态分析	38
2. 微变等效电路法	38
2.4 共集电极放大电路	41
1. 电路的组成	41
2. 静态工作点	42
3. 动态分析	42
4. 电路特点和应用实例	43
2.5 功率放大器和差动放大电路简介	44
1. 功率放大器的分类	45
2. 功率放大器的特点及技术要求	45
3. 功放电路的交越失真	46
4. 差动放大电路	47
2.6 放大电路中的负反馈	48
1. 反馈的基本概念	48
2. 负反馈的基本类型及其判别	49
3. 负反馈对放大电路性能的影响	50
第2章检测题	50
第3章 集成运算放大器	54
3.1 集成运算放大器	54
1. 集成运算放大器概述	54
2. 集成运放芯片引脚功能及元器件特点	56
3. 集成运算放大器的主要技术指标	57
4. 理想集成运放及其传输特性	58
3.2 集成运放的应用	59
1. 集成运放的线性应用	59
2. 集成运放的非线性应用	63
第3章检测题	66
第4章 数字逻辑基础	69
4.1 数字逻辑的基本概念及基本逻辑关系	69
1. 数字电路的基本概念	69
2. 基本逻辑关系	70
4.2 数制与码制	73
1. 计数制	73
2. 码制	76
3. 数的原码、反码和补码	78

4.3 逻辑代数及其化简	80
1. 布尔代数的公式、定律和逻辑运算规则	80
2. 逻辑函数的代数化简法	81
3. 逻辑函数的卡诺图化简法	81
第4章检测题	84
第5章 逻辑门与组合逻辑电路	87
5.1 基本逻辑门电路	87
1. 基本逻辑门	87
2. 复合门电路	89
3. 集成门电路	90
5.2 组合逻辑电路的分析和设计	97
1. 组合逻辑电路的分析	98
2. 组合逻辑电路的设计	100
5.3 常用的组合逻辑电路器件	102
1. 编码器	102
2. 译码器	105
3. 数值比较器	109
4. 数据选择器	110
第5章检测题	113
第6章 触发器	117
6.1 基本RS触发器	117
1. 基本RS触发器的结构组成	117
2. 基本RS触发器的工作原理	118
3. 基本RS触发器逻辑功能的描述	118
6.2 钟控RS触发器	120
1. 钟控RS触发器的结构组成	120
2. 钟控RS触发器的工作原理	121
3. 钟控RS触发器的功能描述	122
6.3 主从型JK触发器	123
1. JK触发器的结构组成	123
2. JK触发器的工作原理	124
3. JK触发器的功能描述	124
4. 集成JK触发器	125
5. T触发器和T'触发器	126
6.4 维持阻塞D触发器	127
1. D触发器的组成结构	127
2. D触发器的工作原理	128
3. D触发器的功能描述	128
4. 集成D触发器的工作原理	129

第6章检测题	131
第7章 时序逻辑电路	134
7.1 时序逻辑电路的分析和设计思路	134
1. 时序逻辑电路的特点	134
2. 时序逻辑电路的分类	135
3. 时序逻辑电路的功能描述	135
4. 时序逻辑电路的基本分析方法	135
5. 时序逻辑电路的设计思路	138
7.2 集成计数器	140
1. 二进制计数器	140
2. 十进制计数器	143
3. 集成计数器及其应用	145
7.3 寄存器	152
1. 数码寄存器	153
2. 移位寄存器	153
3. 集成双向移位寄存器	154
4. 移位寄存器的应用	155
7.4 555 定时电路	161
1. 电路的组成	161
2. 工作原理	163
3. 555 集成定时器应用实例	163
第7章检测题	166
第8章 存储器	170
8.1 存储器基本知识	170
1. 存储器概述	170
2. 存储器的分类	171
3. 存储器的主要性能指标	172
8.2 随机存储器	173
1. RAM 的结构组成	174
2. RAM 的存储单元	175
3. RAM 集成芯片简介	176
4. RAM 的容量扩展	177
8.3 可编程逻辑器件	178
1. ROM 的结构组成及工作原理	179
2. ROM 的分类	181
3. ROM 的存储单元	181
4. 可编程逻辑器件	182
第8章检测题	185
第9章 数/模和模/数转换器	188

9.1 数/模转换器	188
1. DAC 的基本概念及转换特性	188
2. DAC 的工作原理	190
3. 集成 DAC0832	193
9.2 模/数转换器	194
1. ADC 的基本概念和转换原理	194
2. ADC 的主要性能指标	197
3. 逐次比较型 ADC 电路组成及工作原理	197
4. 双积分型 ADC 的结构组成及工作原理	198
5. ADC0809 集成芯片简介	199
第 9 章检测题	201
参考文献	204

第 1 章

半导体基础及常用器件

半导体器件是在 20 世纪 50 年代初发展起来的电子器件，具有体积小、质量小、使用寿命长、输入功率小、功率转换效率高等优点。现代化的电子设备都是以半导体器件和集成电路为基础的，因此半导体器件是近代电子学的重要组成部分。半导体器件中，二极管、三极管（又称晶体管）和场效应半导体管（简称场效应管）等，是构成集成电路的基本单元，被广泛应用在各种电子电路中。近年来，集成电路特别是大规模和超大规模集成电路的出现，使各种工业自动控制设备和电子设备在微型化、可靠性等方面大步前进。为了正确和有效地运用半导体器件，相关工程技术人员必须首先对半导体器件及其工作原理和性能有一个基本的认识。

学习目的和要求 了解本征半导体、P 型和 N 型半导体的特征及 PN 结的形成过程。熟悉二极管的伏安特性及其分类、用途；理解三极管的电流放大原理，掌握其输入和输出特性的分析方法；理解双极型和单极型三极管在控制原理上的区别；初步掌握工程技术人员必需具备的分析电子电路的基本理论、基本知识和基本技能。

1.1 半导体的基本知识

学习目标

了解导体、绝缘体和半导体的概念及物质结构的区别；熟悉本征半导体的光敏性、热敏性和掺杂性；了解本征激发、复合的概念；熟悉 P 型和 N 型两类半导体的形成及其特点；掌握 PN 结的单向导电特性。

1. 导体、绝缘体和半导体

自然界的一切物质都是由分子、原子组成的。原子又由一个带正电的原子核和在它周围高速旋转着的带有负电的电子组成。不同的原子，其原子核内部结构和它周围的电子数量也各不相同。物质原子最外层电子数量的多少，往往决定着该种物质的导电性能。按照物质导电性能的不同，自然界的物质大体可分为三大类，如图 1-1 所示。

(1) 导体：最外层电子数通常是 1~3 个，且距原子核较远，受原子核的束缚力较小。由于外界影响，最外层电子获得一定能量后，极易挣脱原子核的束缚而游离到空间成为自由

电子。因此，导体在常温下存在大量的自由电子，具有良好的导电能力。常用的导电材料有银、铜、铝、金等。

(2) 绝缘体：最外层电子数往往是 6~8 个，且距原子核较近，受原子核的束缚力较强，其外层电子不易挣脱原子核的束缚，因而绝缘体在常温下具有极少的自由电子，导电能力很差或几乎不导电。常用的绝缘材料有橡胶、云母、陶瓷等。

(3) 半导体：最外层电子数一般为 4 个，在常温下存在的自由电子数介于导体和绝缘体之间，因而在常温下半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。常用的半导体材料有硅、锗、硒等。

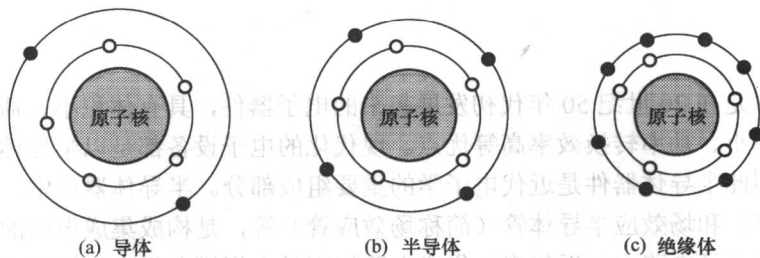


图 1-1 物质根据导电性能进行的分类

由上述各类物质的导电性能可知，导体可使电流顺利通过，因此传输电流的导线芯都采用导电性能良好的铜、铝制成。绝缘体阻碍电流通过，所以导线外面通常包一层橡胶或塑料等绝缘材料，作为导线的保护，使用时比较安全。需要理解的是：导体和绝缘体之间实际上并没有绝对的界限，而且条件变了还可以转化。例如导体氧化后其导电性能变差，甚至不能导电；而绝缘体所受温度增高或湿度增大时，绝缘性能也会变差。实用中常说的电气设备漏电现象，实质上就是绝缘性能下降所造成的。当绝缘体受潮或受到高温、高压时，还有可能完全失去绝缘能力而成为导体。通常把这种现象称为绝缘击穿。

半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间，之所以能够广泛应用在电子技术中，是由于半导体自身存在的一些独特性能。

2. 半导体的独特性能

半导体的导电能力虽然介于导体和绝缘体之间，但在不同条件下半导体的导电能力有着显著的差异。例如，有些半导体对温度的反应特别灵敏，环境温度增高时，其导电能力要增强很多，利用这种特性常可做成各种热敏元件。还有些半导体，当受到光照时，其导电能力变得很强，无光照时，又变得像绝缘体那样不导电，利用这种特性又可制成各种光敏元件。除上述热敏性和光敏性外，半导体还有一个更显著的特点——掺杂性。在纯净的半导体中若掺入微量的某种杂质元素后，例如在单晶硅中掺入百万分之一的三价元素硼，单晶硅的电阻率可由 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右，即导电能力增至未掺杂之前的几十万乃至几百万倍。正是利用半导体的这些独特性能，人们制成了二极管、稳压管、三极管、场效应管、晶闸管等不同的电子器件。

3. 本征半导体

半导体的上述独特性能，是由半导体内部结构及其导电机理所决定的。

(1) 本征半导体

在半导体物质中,目前用得最多的材料是硅和锗。物质的化学性质通常是由原子结构中的最外层电子数目决定的,半导体的导电性质当然也取决于最外层电子数目。通常把物质结构中的最外层电子称为价电子。在硅和锗的原子结构中,最外层电子的数目都是四个,因此被称为四价元素,如图 1-2 所示。图中的“+4”表示原子核所带正电荷量与核外电子所带负电荷量相等,整个原子呈电中性。

天然的硅和锗材料是不能制成半导体器件的,必须经过拉单晶工艺提炼成纯净的单晶体。单晶体的晶格结构完全对称,其原子排列得又非常整齐,故常称为晶体,又称为本征半导体。本征半导体的平面示意图如图 1-3 所示。由图可看出,单晶硅中每个原子的最外层价电子,都两两成为相邻两个原子所共有的价电子,每一对价电子受到两个相邻原子核的吸引作用被紧紧地束缚在一起,组成共价键结构,图中套住两两价电子的虚线环表示共价键,单晶体中的各原子靠共价键的作用紧密联系在一起。

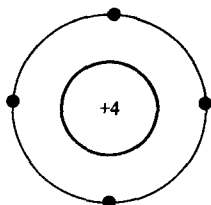


图 1-2 硅和锗原子的简化模型

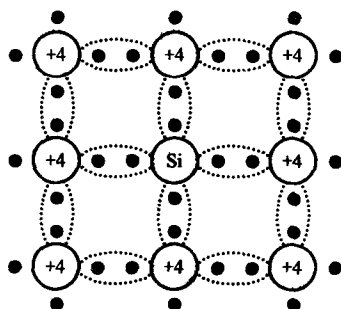


图 1-3 单晶硅共价键结构示意图

常温下单晶体中的束缚价电子很难脱离共价键成为自由电子,因此本征半导体中的自由电子数目很少,导电能力很弱。从共价键整体结构来看,每个单晶硅原子外面都有八个价电子,很像绝缘体的“稳定”结构。也正是由于这种结构,本征半导体中的价电子没有足够的能量,是不易脱离共价键的。

实际上,共价键中的八个价电子并不像绝缘体中的价电子那样束缚得很紧。当温度升高或受到光照后,共价键中的一些价电子就会由热运动加剧而获得足够的能量,挣脱共价键的束缚游离到晶体中成为可移动的自由电子,价电子挣脱共价键束缚成为自由电子的同时,会在共价键上留下一个空位,这个空位称为空穴。显然由于共价键的破裂而形成的自由电子和空穴是成对出现的,所以称作电子—空穴对。通常把这种由于光照、辐射、温度的影响而产生电子—空穴对的现象称为本征激发,如图 1-4 所示。本征激发下产生的自由电子和空穴,在有外电场作用时均可参与导电,其中自由电子载流子带负电,逆电场方向定向移动形成电流。失去价电子的定域原子则成为不能参与导电的带正电离子。

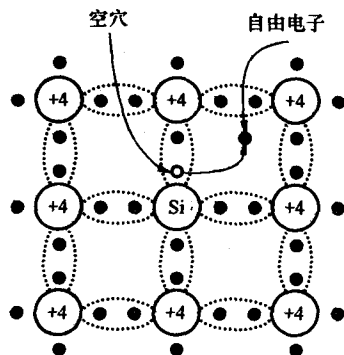


图 1-4 本征激发现象

在本征激发现象出现的同时,受温度的影响,共价键中的另外一些价电子在获得足够能量后也会挣脱原子核的束缚,但它们不是游离到晶体的空间成为自由电子,而是“跳进”

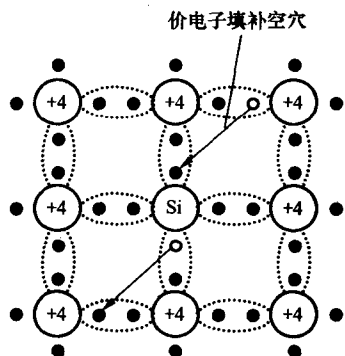


图 1-5 复合现象

相邻原子由本征激发而产生的空穴中,当这些价电子填补空穴的同时,它们也会留下一些新的空穴,这些新的空穴又会被邻近共价键中的另外一些价电子来填补上,这些价电子仍会留下新的空位让相邻价电子来填补……如此就会形成一个价电子定向连续的填补运动。这种由价电子填补空穴的现象称为**复合**。复合不同于本征激发,本征激发的主要导电方式是完全脱离了共价键的自由电子载流子逆着电场方向而形成的定向迁移,而复合运动是由价电子填补空穴形成的。虽然填补空穴的价电子也是逆着电场力的方向作定向迁移,但它们填补空穴的运动始终在共价键中进行。为区别于本征激发下自由电子载流子的运动,通常可把价电子填补空穴看

成是空穴顺着电场方向而形成的定向迁移。复合运动的导电方式是**空穴载流子**的定向迁移,空穴载流子带正电,顺电场方向定向运动形成电流。注意:由于运动具有相对性,共价键中价电子依次“跳进”空穴进行填补,也可看作空穴依次反方向移动,所以人们虚拟出了顺电场方向定向迁移的空穴载流子运动,实际上空穴本身是不能移动的。这就好比电影院有位子的人依次向前挪动,但看起来就像空座位依次向后移动,实际上座位并没有挪动一样。

(2) 半导体的导电机理

在金属导体中存在大量的自由电子,这些自由电子是一种带电的微粒子,在外电场作用下定向移动形成电流。即金属导体内部只有自由电子一种微粒子参与导电。

半导体中参与导电的微粒称为**载流子**,本征激发下的导电微粒是**自由电子载流子**,复合运动形成的导电微粒是**空穴载流子**,通常情况下,半导体中的这两种载流子是同时参与导电的,这一点正是半导体区别于金属导体在**导电机理**上的本质差别,同时也是半导体导电方式的独特之处。

“本征激发”和“复合”在一定温度下同时进行并维持动态平衡,因此电子和空穴两种载流子的浓度基本不变,当温度升高时,本征激发产生的电子-空穴对增多,同时“复合”的机会也增加了,当温度不再继续升高时,最后两种载流子的运动仍会达到一个新的平衡状态。温度越高,载流子的数目就会越多,半导体的导电性能也就越好。即半导体中载流子的数目与温度的高低、光照强弱等因素有关。在温度接近绝对零度(即 -273°C)时,共价键中的电子被束缚很紧无法产生电子-空穴对,相当于绝缘体;在 25°C 常温下,虽然少数价电子能够挣脱共价键的束缚成为电子-空穴对,但此时电子空穴对的数目仅为每立方米单晶硅总电子数的 $1/10^{13}$,该数目表明常温下半导体的导电能力仍然很低。半导体具有光敏性和热敏性,当受到光照或外界温度显著升高的影响时,半导体中会有较多的价电子挣脱共价键的束缚成为电子-空穴对,从而使半导体的导电能力较为明显的增强,大约温度每升高 8°C ,单晶硅中的电子浓度就会增加一倍;温度每升高 12°C ,单晶硅中的电子浓度约增加一倍,显然温度是影响半导体性能的重要因素。

4. 杂质半导体

本征半导体中虽然有自由电子和空穴两种载流子同时参与导电，但由于数量不多因而导电能力仍然不能和导体相比。但是，在本征半导体中掺入微量的某种元素后，半导体的导电能力将大大增强。

(1) N型半导体

在硅（或锗）的晶体中掺入少量的五价元素磷（或砷、锑），本征半导体中的共价键结构基本不变，只是共价键结构中某些位置上的硅（或锗）原子被磷原子所取代。当这些掺杂磷原子与相邻的四个硅原子组成共价键时，多余的一个价电子就会挤出共价键结构，使得磷原子核对其的吸引束缚作用变得很弱，常温下这个多余的电子比其他共价键上的电子更容易挣脱共价键的束缚而成为自由电子，而失去一个电子的杂质原子则成为不能移动的带正电离子，因为这个杂质正电离子是定域的，因此不能参与导电。这种杂质半导体的结构如图 1-6 所示。

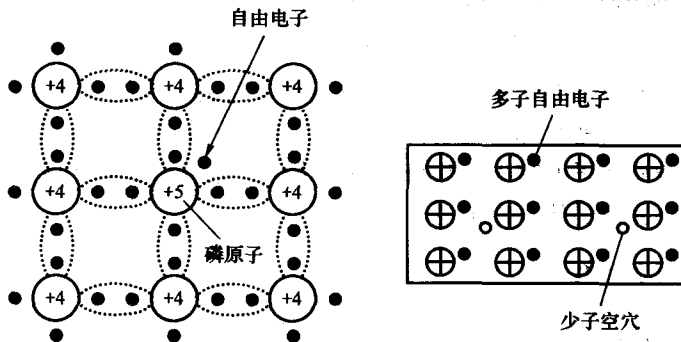


图 1-6 N型半导体晶体结构

掺入五价元素的杂质半导体中，除了热运动使一些共价键破裂而产生的电子-空穴对外，一个杂质原子又可以给出一个自由电子，虽然还是存在两种载流子，但自由电子载流子的浓度远大于空穴载流子的浓度。通常在室温情况下，当本征硅中的杂质数量等于硅原子数量的 $1/10^6$ 时，自由电子载流子的数目将增加几十万倍，使半导体的导电性能显著提高。值得注意的是，杂质元素中多余价电子挣脱原子核束缚成为自由电子后，在它们原来的位置上并不能形成空穴，因此掺入五价元素的杂质半导体中，自由电子载流子的数量相对空穴载流子多得多，故把自由电子称为多数载流子（简称多子），而把空穴载流子称为少数载流子（简称少子）。由于这种杂质半导体中的导电主流是带负电的自由电子载流子，因此通常把这种多电子的杂质半导体称为电子型半导体，习惯称为N型半导体。

(2) P型半导体

在硅（或锗）的晶体内掺入少量三价杂质元素硼（或镓、铟），因硼原子只有三个价电子，它与周围四个硅（或锗）原子组成共价键时，因少一个电子而在共价键中形成一个空位。常温下，相邻硅（或锗）原子共价键中的价电子受到热振动或在其他激发条件下获得能量时，极易“跳入填补”这些空位，这样就在硅（或锗）原子的共价键中失去一个电子而产生一个空穴，硼原子则因接收这些价电子而成为不能移动的带负电离子。这种杂质半导体的结构如图 1-7 所示。

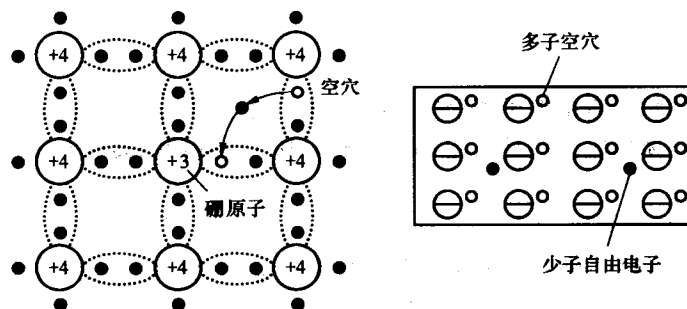


图 1-7 P 型半导体晶体结构

从上述结构图可看出,掺入三价元素硼的杂质半导体中,空穴载流子的数量远大于自由电子载流子,因此空穴载流子称为多数载流子,由本征激发而产生的自由电子载流子数量相对极少称为少数载流子。这种杂质半导体由于空穴数量远大于自由电子数量而被人们称为空穴型半导体,习惯称为P型半导体。一般情况下,杂质半导体中的多数载流子的数量可达到少数载流子数量的 10^{10} 倍或更多,因此,杂质半导体比本征半导体的导电能力将强上几十万倍。

需要指出的是:不论是N型半导体还是P型半导体,虽然都有一种载流子占多数,但多出的载流子数目与杂质离子所带电荷数目始终相平衡,即整块杂质半导体上既没有失电子,也没有得电子,整个晶体仍然呈电中性。

5. PN 结及其形成过程

杂质半导体的导电能力虽然比本征半导体大大增强,但它们并不能称为半导体器件。在电子技术中,PN结是一切半导体器件的“元概念”和技术起始点。

单一的N型半导体和P型半导体只能起电阻的作用,但是,当采用不同的掺杂工艺,在一块完整的半导体硅片的两侧分别注入三价元素和五价元素,使其一边形成N型半导体,另一边形成P型半导体,那么在两种半导体的交界面上就会形成一个PN结,PN结能够使半导体的导电性能受到控制,是构成各种半导体器件的技术基础。

(1) PN 结的形成

由于P区的多数载流子是空穴,少数载流子是电子;N区的多数载流子是电子,少数载流子是空穴,因此在交界面两侧明显地存在着两种载流子的浓度差。这样,P区的多子空穴载流子和N区的多子自由电子载流子都要从浓度高的区域向浓度低的区域扩散。扩散的结果使N区的多子复合掉了P区多子,在P区和N区的交界处只留下了干净的带电杂质离子区,这些带电离子不能任意移动,形成了空间电荷区,如图1-8所示。

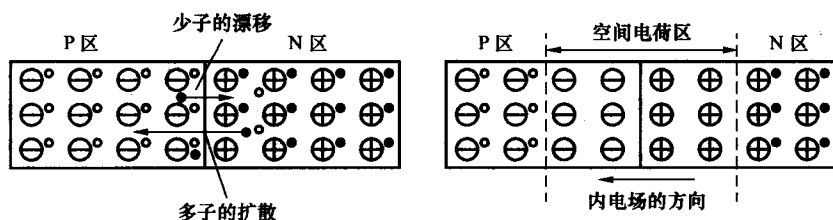


图 1-8 PN 结的形成过程