

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

电子技术基础

霍亮生 主编



清华大学出版社

高等学校教材
电子信息

电子技术基础

霍亮生 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面介绍电子技术的基本理论、分析方法和实际应用。全书共分10章,第1章介绍半导体器件,第2~3章介绍基本放大电路和集成运算放大电路,第4章介绍数字电路基础,第5~6章介绍组合逻辑和时序逻辑电路,第7~8章介绍半导体存储器件和可编程逻辑器件,第9章介绍信号发生与变换,第10章介绍电力电子技术。

本书可作为高等学校和成人高等教育各专业电路技术课程的教材,也可供工程技术人员自学和参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/霍亮生主编. —北京:清华大学出版社,2006.5

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-12461-2

I. 电… II. 霍… III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006288 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 魏江江

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 20.25 字数: 498 千字

版 次: 2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12461-2/TP·7993

印 数: 1~4000

定 价: 26.00 元

编审委员会成员

- | | |
|-----|-----------------------|
| 王志功 | (东南大学 教授) |
| 王成山 | (天津大学电气与自动化工程学院 教授) |
| 王煦法 | (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授) |
| 王新龙 | (南京大学 教授) |
| 王成华 | (南京航空航天大学 教授) |
| 方 勇 | (上海大学 教授) |
| 方建安 | (东华大学信息科学与技术学院 教授) |
| 邓元庆 | (解放军理工大学理学院基础部 教授) |
| 刘景夏 | (解放军理工大学理学院基础部 副教授) |
| 冯久超 | (华南理工大学 教授) |
| 冯全源 | (西南交通大学 教授) |
| 刘惟一 | (云南大学信息学院 教授) |
| 刘复华 | (武汉理工大学 教授) |
| 朱 杰 | (上海交通大学 教授) |
| 朱守正 | (东北师范大学 教授) |
| 张秉权 | (沈阳工业学院 教授) |
| 张丽英 | (长春大学电子信息工程学院 教授) |
| 张德民 | (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授) |
| 迟 岩 | (集美大学信息工程学院 教授) |
| 严国萍 | (华中科技大学 教授) |
| 何明一 | (西北工业大学 教授) |
| 何怡刚 | (湖南大学电气与信息工程学院 教授) |
| 何 晨 | (上海交通大学 教授) |
| 余成波 | (重庆工学院 教授) |
| 林 君 | (吉林大学 教授) |
| 金炜东 | (西南交通大学 教授) |
| 郑永果 | (山东科技大学信息学院 教授) |
| 刘志军 | (山东大学 教授) |
| 赵鹤鸣 | (苏州大学电子信息学院 教授) |
| 徐佩霞 | (中国科学技术大学 教授) |

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

清华大学出版社经过近 20 年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过 20 多年的精雕细刻,形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

为了适应现代电子信息科学技术迅猛发展的需要,本书针对各专业学生必修的基础课程——电子技术的内容和体系进行有机地整合,形成新的教材体系。该课程体系的主要特点表现为以下几个方面。

- 将“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”课程的内容有机地结合在一起,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,有利于提高学生综合利用各科知识讨论某些具体问题的能力。
- 教材兼顾经典理论与最新的现代电子技术。在保留传统电子学理论的基础上,介绍了大量现代电子技术的实际应用。
- 本书在叙述的过程中,注意引导学生对概念的理解,强化理论的推理过程,注意引导学生开放性的思维方法,有意识地培养学生从不同的渠道、利用不同的方法对同一个问题进行讨论,以加深学生对基本概念和基础知识的理解,培养学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质。

本书在编写过程中充分吸收新概念、新理论和新技术,力求处理好先进性和适用性的关系,处理好教材内容变化和基础内容相对稳定的关系。力求重点突出、概念清晰、理论联系实践。

在本书编写过程中,参考了国内外优秀教材。本书由霍亮生教授主编,刘美莲、吴雪老师参与教材编写工作。冯涛、熊光洁老师也给予了许多帮助。借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版和发行工作的同志们致以诚挚的谢意。

限于水平,书中难免出现不妥之处及错误,恳请读者批评指正。

编者

2006年4月

目 录

高等学校教材·电子信息

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	3
1.1.3 PN 结及其单向导电性	4
1.2 二极管	6
1.2.1 二极管的结构	6
1.2.2 二极管的伏安特性	7
1.2.3 二极管的主要参数	8
1.2.4 稳压管	9
1.3 双极型晶体管	11
1.3.1 晶体管的结构和类型	11
1.3.2 晶体管电流控制作用	12
1.3.3 晶体管的共射特性曲线	14
1.3.4 晶体管的主要参数	15
1.4 绝缘栅型场效应晶体管	16
1.4.1 基本结构和工作原理	17
1.4.2 绝缘栅型场效应晶体管的特性曲线	18
1.4.3 绝缘栅型场效应晶体管的主要参数	20
习题	20
第 2 章 基本放大电路	24
2.1 共射极放大电路	24
2.1.1 共射极放大电路的组成	24
2.1.2 直流通道和交流通道	25
2.2 放大电路的静态分析	26
2.3 放大电路的动态分析	27

2.3.1	图解法的动态分析	27
2.3.2	微变等效电路法的动态分析	30
2.4	静态工作点稳定的放大电路	34
2.4.1	温度对静态工作点的影响	34
2.4.2	分压式偏置电路	35
2.5	基本共集放大电路	37
2.5.1	电路组成	37
2.5.2	电路分析	37
2.6	场效应晶体管基本放大电路	39
2.6.1	电路的组成	39
2.6.2	静态分析	40
2.6.3	动态分析	40
2.7	多级放大电路	41
2.7.1	多级放大电路的耦合方式	41
2.7.2	多级放大电路的动态分析	43
2.8	差分放大电路	44
2.8.1	电路组成	44
2.8.2	差分放大电路的分析	45
2.9	功率放大电路	48
2.9.1	功率放大电路的特点	49
2.9.2	功率放大器的工作状态	49
2.9.3	互补对称功率放大电路	51
2.9.4	OCL 电路	53
习题		55
第3章	集成运算放大电路	64
3.1	集成运算放大电路	64
3.1.1	集成运放的组成及其各部分的作用	64
3.1.2	集成运放的主要性能指标	65
3.1.3	集成运放的电压传输特性	66
3.1.4	理想集成运放	67
3.2	集成运放在信号运算方面的应用	68
3.2.1	比例运算电路	68
3.2.2	加法运算电路	70
3.2.3	微分和积分运算电路	72
3.2.4	对数和指数运算电路	74
3.2.5	乘法和除法运算电路	75
3.3	理想集成运放的非线性应用——电压比较器	77
3.3.1	单限电压比较器	77

3.3.2 滞回比较器	78
3.3.3 窗口比较器	79
习题	80
第4章 数字逻辑基础	86
4.1 数制和码制	86
4.1.1 数制	86
4.1.2 码制	87
4.2 逻辑代数中的基本运算	88
4.2.1 逻辑与	89
4.2.2 逻辑或	90
4.2.3 逻辑非	90
4.2.4 复合逻辑	91
4.3 逻辑代数中的基本定律和常用公式	93
4.3.1 基本定律	93
4.3.2 基本公式	93
4.3.3 常用公式	94
4.4 逻辑函数及其表示方法	94
4.4.1 逻辑函数的建立	95
4.4.2 逻辑函数的表示方法	95
4.5 逻辑函数的公式化简法	97
4.5.1 逻辑函数的最简形式	97
4.5.2 几种常用的化简方法	98
4.6 逻辑函数的卡诺图化简法	99
4.6.1 逻辑函数的卡诺图表示法	99
4.6.2 用卡诺图化简逻辑函数	102
习题	105
第5章 门电路和组合逻辑电路	108
5.1 概述	108
5.2 半导体二极管和晶体管的开关作用	109
5.2.1 半导体二极管的开关作用	109
5.2.2 晶体管的开关作用	109
5.3 基本逻辑门电路	111
5.3.1 分立元器件门电路	111
5.3.2 TTL 集成门电路	115
5.3.3 CMOS 逻辑门电路	121
5.4 组合逻辑电路的分析和设计	123
5.4.1 组合逻辑电路的特点	123

5.4.2	组合逻辑电路的分析	124
5.4.3	组合逻辑电路的设计	125
5.5	常用的组合逻辑电路	127
5.5.1	加法器	127
5.5.2	编码器	130
5.5.3	译码器	137
5.5.4	数据选择器	144
5.6	组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	149
5.6.1	竞争-冒险现象	149
5.6.2	竞争-冒险现象的判断方法	150
习题		150
第 6 章	触发器和时序逻辑电路	155
6.1	概述	155
6.2	触发器的电路结构和动作特点	155
6.2.1	基本 RS 触发器	155
6.2.2	同步 RS 触发器	158
6.2.3	主从触发器	160
6.2.4	边沿触发器	166
6.3	触发器的逻辑功能及其描述方法	168
6.3.1	RS 触发器	169
6.3.2	JK 触发器	170
6.3.3	D 触发器	170
6.3.4	T 触发器	171
6.3.5	触发器功能的转换	171
6.4	时序逻辑电路的分析方法	173
6.5	常用的时序逻辑电路	179
6.5.1	寄存器和移位寄存器	179
6.5.2	同步计数器	184
习题		194
第 7 章	半导体存储器件	201
7.1	只读存储器(ROM)	201
7.1.1	ROM 的分类	201
7.1.2	ROM 的结构及工作原理	202
7.1.3	ROM 的应用举例	205
7.2	随机存取存储器(RAM)	208
7.3	存储器容量的扩展	210
7.3.1	位扩展	210

7.3.2 字扩展	210
习题	212
第 8 章 可编程逻辑器件	214
8.1 可编程逻辑器件概述	214
8.1.1 可编程逻辑器件的发展与应用	214
8.1.2 PLD 发展历程	215
8.1.3 PLD 的编程技术	216
8.1.4 基于 EDA 的 CPLD/FPGA 应用	217
8.2 可编程阵列逻辑(PAL)	217
8.2.1 PAL 的基本电路结构	218
8.2.2 PAL 的应用举例	218
8.3 通用阵列逻辑(GAL)	220
8.4 可擦除的可编程逻辑器件(EPLD)	223
8.5 现场可编程门阵列(FPGA)	225
8.5.1 可编程逻辑块(CLB)	225
8.5.2 输入/输出模块(IOB)	227
8.5.3 可编程互联资源(PIR)	227
8.6 复杂可编程逻辑器件(CPLD)	228
8.6.1 可编程逻辑阵列宏单元(LMC)	229
8.6.2 可编程 I/O 单元(IOC)	231
8.6.3 可编程内部连线	231
8.6.4 CPLD 和 FPGA 的选用	231
8.7 PLD 的编程	234
8.8 在系统可编程逻辑器件(ISP-PLD)	236
8.8.1 在系统编程技术原理	236
8.8.2 ispLSI 逻辑器件	237
8.9 硬件描述语言	240
8.9.1 概述	240
8.9.2 常用硬件描述语言简介	241
第 9 章 信号的发生与变换	244
9.1 正弦波振荡电路	244
9.1.1 正弦波振荡电路的基本工作原理	244
9.1.2 正弦波振荡电路	246
9.1.3 LC 正弦波振荡电路	247
9.2 非正弦波发生电路	248
9.2.1 矩形波发生电路	248
9.2.2 三角波信号发生器	250

9.2.3	锯齿波信号发生器	251
9.3	有源滤波器	252
9.3.1	有源低通滤波电路	252
9.3.2	有源高通滤波器	253
第 10 章	电力电子技术	255
10.1	电力电子器件	255
10.1.1	晶闸管	255
10.1.2	派生晶闸管	259
10.1.3	电力晶体管和电力场效应晶体管	261
10.1.4	绝缘栅双极型晶体管和 MOS 控制晶闸管	266
10.1.5	智能功率模块(IPM)	271
10.2	整流电路	272
10.2.1	单相可控整流电路	272
10.2.2	三相可控整流电路	282
10.3	直流斩波电路	292
10.3.1	斩波电路的基本工作原理与控制方式	292
10.3.2	Buck 斩波电路	295
10.3.3	Boost 斩波电路	296
10.3.4	Buck-Boost 斩波电路和 Cuk 斩波电路	298
10.3.5	复合斩波电路	301
10.4	交流调速	303
10.4.1	交流变频调速和控制方式	303
10.4.2	异步电动机的调速系统	304

第1章

半导体器件

半导体器件是组成各种电子电路的基础。本章首先介绍半导体基础知识,包括半导体材料的特性,半导体中载流子的运动,阐明 PN 结的单向导电性等;然后介绍半导体二极管、稳压管、双极型晶体管以及场效应晶体管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体基础知识

自然界的物质,按照导电能力的强弱可分为导体、半导体和绝缘体三类。物质的导电性能决定于原子结构。导体一般为低价元素,例如银、铜和铝等金属材料都是良好的导体,它们最外层电子极易挣脱原子核的束缚成为自由电子,在外电场的作用下产生定向移动,形成电流。高价元素(如惰性气体)或高分子物质(如橡胶),它们的最外层电子极难挣脱原子核的束缚成为自由电子,所以导电性极差,称为绝缘体。常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge),锗原子中共有 32 个电子围绕原子核旋转,最外层轨道上有 4 个电子,如图 1-1-1(a)所示。原子最外层轨道上的电子通常称为价电子,因此硅和锗均为 4 价元素。硅的原子结构如图 1-1-1(b)所示。为了方便起见,常常用带+4 电荷的正离子和周围的 4 个价电子来表示一个 4 价元素的原子,如图 1-1-1(c)所示。硅和锗的最外层电子既不像导体那么容易挣脱原子核的束缚,也不像绝缘体那样被原子核束缚得那么紧,因此导电性介于导体和绝缘体之间。

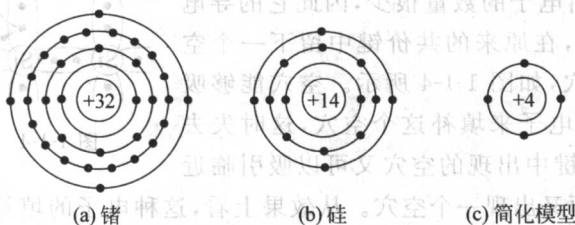


图 1-1-1 锗和硅的原子结构

1.1.1 本征半导体

将纯净半导体经过一定工艺过程制成的单晶体,即被称为本征半导体。

1. 本征半导体的晶体结构

在硅(或锗)的晶体中,原子在空间形成规则的晶体点阵,即每个硅(或锗)原子处于正四面体中心,而其他4个原子位于正四面体的顶点,如图1-1-2所示。其中每个原子最外层的价电子,不仅受到自身原子核的束缚,同时还受到相邻原子核的吸引。因此,价电子不仅围绕自身的原子核运动,同时也出现在相邻原子核的轨道上。于是,两个相邻的原子共有一对价电子,即形成了晶体中的共价键结构,如图1-1-3所示是硅晶体中共价键结构平面示意图。

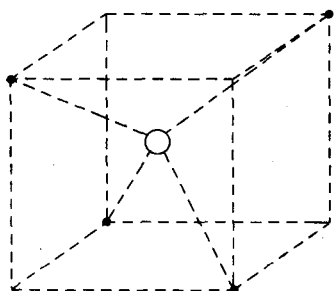


图 1-1-2 晶体中原子的排列方式

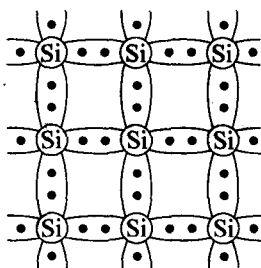


图 1-1-3 共价键结构平面示意图

2. 本征半导体中的两种载流子

对于本征半导体来说,由于晶体中共价键的结合力很强,在热力学温度零度(即 $T=0\text{K}$, 相当于 $T=-273^{\circ}\text{C}$)时,共价键中电子的能量不足以挣脱共价键的束缚,因此,晶体中没有自由电子。所以,在 $T=0\text{K}$ 时,半导体不能导电,如同绝缘体一样。如果温度逐渐升高,例如在室温条件下,将有少数价电子获得足够的能量,以克服共价键的束缚而成为自由电子。此时,本征半导体具有一定的导电能力,但因自由电子的数量很少,因此它的导电能力比较微弱。同时,在原来的共价键中留下一个空位,这种空位称为空穴,如图1-1-4所示。空穴能够吸引临近共价键中的价电子来填补这个空穴,这时失去了价电子的邻近共价键中出现的空穴又可以吸引临近的价电子来填补,从而又出现一个空穴。从效果上看,这种电子的填补运动,相当于带正电荷的空穴在运动一样。为了与自由电子的运动区别开来,称为空穴运动。

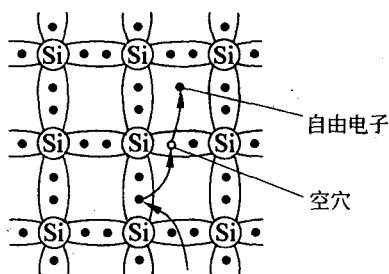


图 1-1-4 空穴和自由电子

由此可见,半导体中存在着两种运载电荷的粒子,即载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对产生,成为电子-空穴对,因此,两种载流子浓度是相等的。当自由电子填补空穴时,叫做复合,而使电子-空穴对消失。在一定温度下,上述电子-空穴对产生和复合两种运动达到了平衡,使电子-空穴对的浓度一定。

应当指出,本征半导体的导电性能很差,且与环境温度密切相关,随着温度的升高,载流

子的浓度基本上呈指数规律增加。半导体材料性能对温度的这种敏感性,即可以用来制作光敏器件和热敏器件,也是造成半导体器件温度稳定性差的原因。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体中虽然存在两种载流子,但因本征载流子的浓度很低,所以总的来说导电能力很差。如果在本征半导体中掺入某种特定的杂质元素,并控制掺入杂质元素的浓度,就可以控制杂质半导体的导电性能。

1. N型半导体

如果在纯净的硅(或锗)晶体中掺入少量的5价杂质元素,如磷、锑等,则原来晶格中的某些硅原子将被杂质原子代替,就形成了N型半导体。由于杂质原子的最外层有5个价电子,所以它与周围4个硅原子组成共价键时,还多出一个电子。这个电子不受共价键的束缚,只受自身原子核的吸引,而原子核的这种束缚力比较微弱,因此该电子在室温下即可成为自由电子,而杂质原子成为不可移动的正离子,如图1-1-5所示。在N型半导体中,自由电子的浓度将远远高于空穴的浓度,因此自由电子称为多数载流子(简称多子),而其中的空穴称为少数载流子(简称少子)。由于杂质原子可以提供电子,故称为施主原子。N型半导体主要靠自由电子导电,掺入的杂质元素越多,自由电子的浓度就越高,导电性能就越强。

2. P型半导体

如果在纯净的硅(或锗)晶体中掺入少量的3价杂质元素,如硼、镓等,则原来晶格中的某些硅原子将被杂质原子代替,就形成了P型半导体。由于杂质原子的最外层有3个价电子,所以它与周围4个硅原子组成共价键时,就产生了一个“空穴”,当硅原子外层电子由于热运动填补此空穴时,杂质原子成为不可移动的负离子,同时在硅原子的共价键中产生一个空穴,如图1-1-6所示。在P型半导体中,空穴的浓度将远远高于自由电子的浓度,因此,空穴为多子,而其中的自由电子为少子。由于杂质原子中的空穴吸引电子,故称为受主原子。P型半导体主要靠空穴导电,掺入的杂质元素越多,空穴的浓度就越高,导电性能就越强。

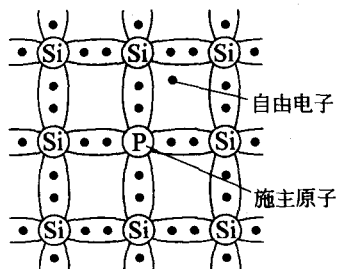


图 1-1-5 N型半导体的晶体结构

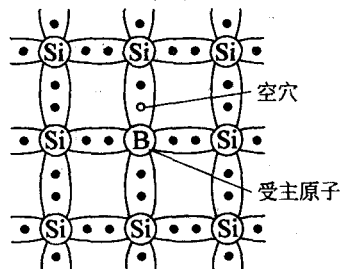


图 1-1-6 P型半导体的晶体结构

在杂质半导体中,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的变化。

对于杂质半导体来说,无论是N型半导体或P型半导体,从总体上看,仍然保持着电中性。为方便起见,以后只画出其中的正离子和等量的自由电子来表示N型半导体;同样地,只画出负离子和等量的空穴来表示P型半导体,分别如图1-1-7(a)和(b)所示。

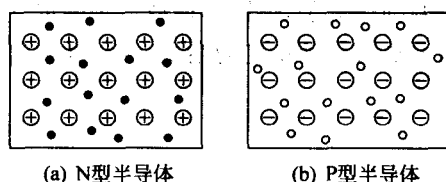


图 1-1-7 杂质半导体的简化表示法

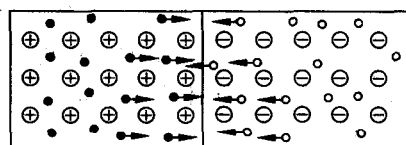
总之,在纯净的半导体中掺入杂质元素以后,导电性能将大大改善。例如,在4价的硅中掺入百万分之一的3价杂质硼后,在室温时的电阻率与本征半导体相比,将下降到原来的五十万分之一,可见导电能力大大提高了。当然,仅仅提高半导体导电能力不是最终目的,因为导体的导电能力更强。杂质半导体的奇妙之处在于:本征半导体掺入不同性质、不同浓度的杂质元素后,并对P型半导体和N型半导体采用不同的方式组合,可以制造出形形色色、品种繁多、用途各异的半导体器件。

1.1.3 PN结及其单向导电性

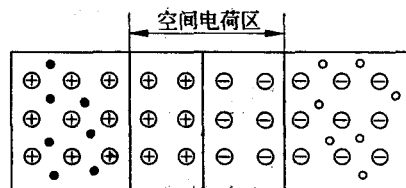
采用不同的掺杂工艺,将P型半导体和N型半导体制作在同一块硅片上,在它们的交界面附近就形成PN结。

1. PN结中载流子的运动

在P型半导体和N型半导体的交界面两侧,由于电子和空穴的浓度相差悬殊,所以N型区中的多子(电子)要向P型区扩散;同时,P型区中的多子(空穴)也要向N型区扩散,如图1-1-8(a)所示。当电子和空穴相遇时,将发生复合而消失。于是,在交界面两侧形成一个由不能移动的正、负离子组成的空间电荷区,也就是PN结,如图1-1-8(b)所示。由于空间电荷区内缺少可以自由运动的载流子,所以又称为耗尽层。在扩散之前,无论P型区还是N型区,从整体来说,各自都保持着电中性,因为在P型区中,多子(空穴)的浓度等于负离子的浓度与少子(电子)的浓度之和;而在N型区中,电子(多子)的浓度等于正离子的浓度与空穴(少子)的浓度之和。但是,由于多子的扩散运动,电子和空穴因复合而消失。空间电荷



(a) P型区与N型区中载流子的扩散运动



(b) 平衡下的PN结

图 1-1-8 PN结的形成