

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



模拟电子技术

朱定华 蔡红娟 蔡苗 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电

模拟电子技术

朱定华 蔡红娟 蔡苗 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书主要内容有：半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、负反馈放大电路、信号处理与产生电路、低频功率放大电路和直流电源。

本书内容精练、实例丰富，其中大量电路是作者多年来在科研和教学中反复提炼得来的，因而本书应用性很强，可作为大专院校和高职高专成人高等教育“模拟电子技术”课程的教学用书。也可以供科技人员参考。

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。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/朱定华等编著. --北京：清华大学出版社，2013.2

21 世纪高等学校规划教材·电子信息

ISBN 978-7-302-30580-4

I. ①模… II. ①朱… III. ①模拟电路—电子技术 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 261542 号

责任编辑：魏江江 薛 阳

封面设计：傅瑞学

责任校对：李建庄

责任印制：沈 露

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者：北京富博印刷有限公司

装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：14.75 字 数：368 千字

版 次：2013 年 2 月第 1 版 印 次：2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：26.00 元

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
吴彦文 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授

西南交通大学

冯全源 教授

金炜东 教授

重庆工学院

余成波 教授

重庆通信学院

曾凡鑫 教授

重庆大学

曾孝平 教授

重庆邮电学院

谢显中 教授

张德民 教授

西安电子科技大学

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

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21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”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·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) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,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

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup. tsinghua. edu. cn



前言

本书是作者在多年教学改革与实践的基础上,为电气、电子、通信、自动化等专业而编写的模拟电子技术课程的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

根据以上专业的要求,本书共分为 8 章,具体内容如下:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、负反馈放大电路、信号处理与波形产生电路、低频功率放大电路和直流电源。

作者在编写本书时,注意理论和实践相结合,力求做到既有一定的理论基础,又能运用理论解决实际问题;既注重先进技术,又着眼于为当前的应用服务。本书力求做到内容全面、概念清楚、内容深入浅出、通俗易懂,并注重实用性和先进性。在编写过程中,我们力图把内容的重点放在培养学生分析问题和解决问题的能力上。

本书实例丰富,实用性强。每章后均配有一定数量的、能达到检验和加深理解理论知识、培养解题和应用能力及训练思维方式的习题。避免了烦琐的文字叙述、数学推导及浩瀚的题海,将学生从“学海无涯苦作舟”中解放出来,使他们做到一看就懂、一学就会、欲罢不能、兴趣盎然。

本书由朱定华、蔡红娟和蔡苗编写。参加编写工作的人员还有沈钰、周斌、方奕乐、翟晟、吕建才、陈艳、黄松、朱水晶、樊芳和郭佳等。

电子技术日新月异,教学改革任重道远。限于我们的水平和能力,书中一定会有许多不尽如人意之处,恳请各界读者批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2012 年 12 月

21 世纪高等学校数字媒体专业规划教材

ISBN	书 名	定价(元)
9787302224877	数字动画编导制作	29.50
9787302222651	数字图像处理技术	35.00
9787302218562	动态网页设计与制作	35.00
9787302222644	J2ME 手机游戏开发技术与实践	36.00
9787302217343	Flash 多媒体课件制作教程	29.50
9787302210399	数字音视频资源的设计与制作	25.00
9787302201076	Flash 动画设计与制作	29.50
9787302180319	非线性编辑原理与技术	25.00
9787302168119	数字媒体技术导论	32.00
9787302155188	多媒体技术与应用	25.00
9787302235118	虚拟现实技术	35.00
9787302234111	多媒体 CAI 课件制作技术及应用	35.00
9787302238133	影视技术导论	29.00
9787302224921	网络视频技术	35.00
9787302232865	计算机动画制作与技术	39.50
9787302275893	网页编程基础——XHTML、CSS、JavaScript	39.50
9787302272847	3D 图形编程基础——基于 DirectX 11	29.50
9787302262725	三维动画设计与制作技术	29.00
9787302261322	数字影视非线性编辑技术	29.50
9787302255376	数字摄影与摄像	25.00
9787302250203	数字媒体专业英语	35.00
9787302254133	网页设计与制作(第2版)	29.50
9787302243700	多媒体信息处理与应用	35.00

以上教材样书可以免费赠送给授课教师,如果需要,请发电子邮件与我们联系。

教学资源支持

敬爱的教师:

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了配合本课程的教学需要,本教材配有配套的电子教案(素材),有需求的教师可以与我们联系,我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案(素材),希望有助于教学活动的开展。

相关信息请拨打电话 010-62776969 或发送电子邮件至 weijj@tup.tsinghua.edu.cn 咨询,也可以到清华大学出版社主页(<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>)上查询和下载。

如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题,或者有相关教材出版计划,也请您发邮件或来信告诉我们,以便我们更好地为您服务。

地址:北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 707 计算机与信息分社魏江江 收
邮编:100084 电子邮件: weijj@tup.tsinghua.edu.cn
电话:010-62770175-4604 邮购电话:010-62786544

《网页设计与制作(第2版)》目录

ISBN 978-7-302-25413-3 梁 芳 主编

图书简介:

Dreamweaver CS3、Fireworks CS3 和 Flash CS3 是 Macromedia 公司为网页制作人员研制的新一代网页设计软件,被称为网页制作“三剑客”。它们在专业网页制作、网页图形处理、矢量动画以及 Web 编程等领域中占有十分重要的地位。

本书共 11 章,从基础网络知识出发,从网站规划开始,重点介绍了使用“网页三剑客”制作网页的方法。内容包括了网页设计基础、HTML 语言基础、使用 Dreamweaver CS3 管理站点和制作网页、使用 Fireworks CS3 处理网页图像、使用 Flash CS3 制作动画和动态交互式网页,以及网站制作的综合应用。

本书遵循循序渐进的原则,通过实例结合基础知识讲解的方法介绍了网页设计与制作的基础知识和基本操作技能,在每章的后面都提供了配套的习题。

为了方便教学和读者上机操作练习,作者还编写了《网页设计与制作实践教程》一书,作为与本书配套的实验教材。另外,还有与本书配套的电子课件,供教师教学参考。

本书可作为高等院校本、专科网页设计课程的教材,也可作为高职高专院校相关课程的教材或培训教材。



目 录:

第 1 章 网页设计基础	7.3 框架
1.1 Internet 的基础知识	7.4 用 CSS 进行网页布局
1.2 IP 地址和 Internet 域名	习题
1.3 网页浏览原理	第 8 章 Flash 动画制作
1.4 网站规划与网页设计	8.1 Flash CS3 工作界面
习题	8.2 Flash 基本操作
第 2 章 网页设计语言基础	8.3 绘图基础
2.1 HTML 语言简介	8.4 文本的使用
2.2 基本页面布局	8.5 图层和场景
2.3 文本修饰	8.6 元件、实例和库资源
2.4 超链接	8.7 创建动画
2.5 图像处理	8.8 动作脚本基础
2.6 表格	习题
2.7 多窗口页面	第 9 章 Fireworks 图像处理
习题	9.1 Fireworks 工作界面
第 3 章 初识 Dreamweaver	9.2 编辑区
3.1 Dreamweaver 窗口的基本结构	9.3 绘图工具
3.2 建立站点	9.4 文本工具
3.3 编辑一个简单的主页	9.5 蒙版的应用
习题	9.6 滤镜的应用
第 4 章 文档创建与设置	9.7 网页元素的应用
4.1 插入文本和媒体对象	9.8 GIF 动画
4.2 在网页中使用超链接	习题
4.3 制作一个简单的网页	第 10 章 表单及 ASP 动态网页的制作
习题	10.1 ASP 编程语言
第 5 章 表格与框架	10.2 安装和配置 Web 服务器
5.1 表格的基本知识	10.3 制作表单
5.2 框架的使用	10.4 网站数据库
习题	10.5 Dreamweaver+ASP 制作动态网页
第 6 章 CSS 样式表	习题
6.1 CSS 入门	第 11 章 三剑客综合实例
6.2 CSS 样式详解	11.1 在 Fireworks 中制作网页图形
6.3 创建 CSS 样式	11.2 切割网页图形
习题	11.3 在 Dreamweaver 中编辑网页
第 7 章 网页布局	11.4 在 Flash 中制作动画
7.1 网页布局类型	11.5 在 Dreamweaver 中完善网页
7.2 用表格进行网页布局	

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体器件的基础知识	1
1.1.1 半导体材料	1
1.1.2 本征半导体	1
1.1.3 杂质半导体	2
1.1.4 PN 结	3
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 半导体二极管的结构及类型	6
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	7
1.2.3 半导体二极管的主要电参数	8
1.2.4 特殊二极管	9
1.3 半导体三极管	11
1.3.1 半导体三极管的结构及类型	11
1.3.2 半导体三极管的电流放大作用	12
1.3.3 半导体三极管的特性曲线	14
1.3.4 半导体三极管的主要电参数	15
1.4 场效应管	17
1.4.1 结型场效应管	17
1.4.2 绝缘栅场效应管	20
1.4.3 场效应管的主要参数	23
1.4.4 场效应管与三极管的比较	24
1.5 复合管	24
本章小结	25
习题	26
第 2 章 基本放大电路	31
2.1 基本放大电路概述	31
2.1.1 放大的概念	31
2.1.2 放大电路的基本性能指标	31
2.2 基本共射放大电路	33
2.2.1 基本共射放大电路的工作原理	33
2.2.2 直流通路和交流通路	33

2.2.3	静态工作点的设置	34
2.2.4	微变等效电路法	35
2.2.5	图解法	38
2.3	放大电路静态工作点的稳定	45
2.3.1	射极偏置放大电路	45
2.3.2	稳定静态工作点的措施	47
2.4	三极管单管放大电路的三种基本接法	47
2.4.1	共集电极放大电路	48
2.4.2	共基极放大电路	50
2.4.3	三极管基本放大电路三种接法的比较	51
2.5	场效应管放大电路	51
2.5.1	场效应管放大电路的三种接法	51
2.5.2	场效应管的静态分析	52
2.5.3	场效应管放大电路的动态分析	53
2.6	多级放大电路	55
2.6.1	多级放大电路的耦合方式	55
2.6.2	多级放大电路的动态分析	57
	本章小结	58
	习题	59
第3章	集成运算放大电路	66
3.1	电流源电路	66
3.1.1	镜像电流源	66
3.1.2	比例电流源	67
3.1.3	微电流源	67
3.1.4	多路电流源	68
3.1.5	具有电流源的共射放大电路	68
3.2	差动放大电路	69
3.2.1	基本差动放大电路	69
3.2.2	长尾式差动放大电路	70
3.2.3	差动放大电路的4种接法	73
3.2.4	具有电流源的差动放大电路	76
3.3	集成运算放大电路	78
3.3.1	集成运放的组成	78
3.3.2	集成运算放大电路的典型电路分析	78
3.3.3	集成运算放大电路的性能指标	80
3.4	集成运放的电路模型	82
3.4.1	集成运算放大电路的符号表示	82
3.4.2	理想运放的性能指标	83

3.4.3 集成运放的电压传输特性	83
3.5 基本运算放大电路	84
3.5.1 比例运算电路	84
3.5.2 加减运算电路	87
3.5.3 积分和微分运算电路	91
3.5.4 测量放大电路	93
本章小结	94
习题	95
第4章 放大电路的频率响应	101
4.1 频率响应概述	101
4.1.1 无源 RC 电路的频率响应	101
4.1.2 波特图	103
4.2 三极管的高频等效模型	105
4.2.1 三极管的混合 π 型等效电路	105
4.2.2 高频微变等效电路参数	107
4.2.3 电流放大系数 β 的频率响应	107
4.3 单管共发射极放大电路的频率特性	109
4.3.1 中频放大倍数 A_{usm}	110
4.3.2 低频放大倍数 A_{usl} 及波特图	110
4.3.3 高频放大倍数 A_{ush} 及波特图	111
4.3.4 完整的频率特性曲线	112
4.4 多级放大电路的频率特性	115
本章小结	116
习题	116
第5章 负反馈放大电路	119
5.1 反馈的基础知识	119
5.1.1 反馈的概念	119
5.1.2 反馈的分类及其判别方法	120
5.1.3 负反馈放大电路的 4 种基本组态	123
5.2 负反馈对放大电路性能的影响	128
5.2.1 提高放大倍数的稳定性	128
5.2.2 稳定被取样的输出信号	129
5.2.3 对输入电阻的影响	129
5.2.4 对输出电阻的影响	130
5.2.5 减小非线性失真和抑制干扰、噪声	132
5.2.6 展宽通频带	132
5.3 深度负反馈放大电路的指标估算	134

5.3.1 估算依据	134
5.3.2 计算举例	135
5.4 负反馈放大电路的自激振荡	139
5.4.1 产生自激振荡的原因及条件	139
5.4.2 自激振荡的判别方法	139
5.4.3 常用的消除自激的方法	140
本章小结	141
习题	142
第6章 信号处理与波形产生电路	148
6.1 有源滤波电路	148
6.1.1 滤波电路的基本知识	148
6.1.2 有源低通滤波电路	149
6.1.3 有源高通滤波电路	150
6.1.4 有源带通滤波电路	151
6.1.5 有源带阻滤波电路	151
6.2 电压比较器	152
6.2.1 单限电压比较器	153
6.2.2 滞回电压比较器	154
6.2.3 窗口电压比较器	156
6.3 正弦波产生电路	157
6.3.1 概述	157
6.3.2 RC 正弦波振荡电路	158
6.3.3 LC 正弦波振荡电路	160
6.3.4 石英晶体振荡电路	163
6.4 非正弦波产生电路	165
6.4.1 矩形波产生电路	165
6.4.2 三角波发生电路	166
6.4.3 锯齿波发生电路	168
本章小结	169
习题	170
第7章 低频功率放大电路	176
7.1 低频功率放大电路概述	176
7.1.1 功放电路的分类	176
7.1.2 低频功率放大电路的特点	177
7.2 甲类功率放大电路	178
7.3 乙类互补对称功率放大电路	179
7.3.1 电路组成和工作原理	179

7.3.2	主要指标计算	180
7.3.3	交越失真	183
7.4	甲乙类互补对称功率放大电路	183
7.4.1	甲乙类双电源互补对称功放电路	183
7.4.2	甲乙类单电源互补对称功放电路	184
7.5	集成功率放大电路	185
7.5.1	电路组成及工作原理	185
7.5.2	集成功放的应用	186
	本章小结	187
	习题	187
第 8 章	直流电源	190
8.1	直流电源的组成	190
8.2	整流电路	191
8.2.1	单相半波整流电路	191
8.2.2	单相桥式整流电路	192
8.3	滤波电路	195
8.3.1	电容滤波电路	195
8.3.2	其他形式的滤波电路	197
8.4	稳压电路	198
8.4.1	稳压电路的主要指标	198
8.4.2	稳压管稳压电路	199
8.4.3	串联型稳压电路	200
8.4.4	集成稳压器的应用	203
8.5	开关型稳压电路	204
8.5.1	串联开关型稳压电路	204
8.5.2	并联开关型稳压电路	206
	本章小结	206
	习题	207
	习题答案	211
	参考文献	220

第1章

半导体器件

1.1 半导体器件的基础知识

1.1.1 半导体材料

物质按其导电能力可以分为导体、半导体和绝缘体。导体的导电能力最强,常见的导体有铜、铁、铝等;绝缘体几乎不导电,如木头、橡胶等;半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间。

在电子器件中,常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)等四价元素,其最外层轨道上有四个电子,简化的原子结构模型如图 1-1 所示。在形成晶体结构的半导体中,人为地掺入特定的杂质元素时,其导电性能具有可控性;另外,在光照和热辐射条件下,其导电性还有明显的变化,这些特殊的性质决定了半导体材料可以制成各种电子器件。

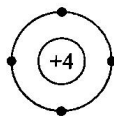


图 1-1 四价元素原子结构图

1.1.2 本征半导体

在半导体的晶体结构中,原子按一定的规则整齐地排列,由于原子间的距离很近,价电子不仅受到所属原子核的吸引,还受到相邻原子核的吸引,这样,每一个原子的每个价电子都与相邻原子的一个价电子组成一个电子对,即形成共价键结构,如图 1-2 所示。共价键结构使原子最外层处在较为稳定的状态。本征半导体就是这样一种纯净的具有晶体结构的半导体,在热力学温度 $T=0\text{K}(-273^{\circ}\text{C})$ 且无外部激发能量时,每个价电子都处于最低能态,价电子没有能力脱离共价键的束缚,没有能够自由移动的带电粒子,这时的本征半导体称为绝缘体。

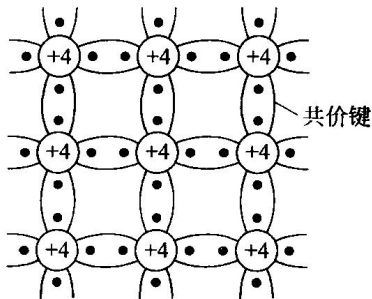


图 1-2 硅晶体共价键结构

本征半导体在温度升高或受到光照射时,其共价键中的少数价电子因获得能量而挣脱共价键束缚成为自由电子。这种现象称为激发,如图 1-3 所示。价电子挣脱共价键束缚成为自由电子之后,在共价键中留下一个空位子,称为空穴(图中用圆圈表示)。每形成一个自由电子,就留下一个空穴。所以,在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对出现、数目相等。原子是中性的,而自由电子带负电,所

以认为空穴带正电。

在外电场力的作用下,一方面自由电子作定向运动形成电子电流;另一方面空穴出现后,会吸引相邻原子中的价电子来填补空穴,同时出现另一个空穴,如图 1-4 所示。若 x_1 处出现空穴,而 x_2 处的价电子就可以填补到这个空穴中,从而使空穴由 x_1 移到 x_2 ;若接着 x_3 处的价电子又填补到 x_2 处的空穴,即使空穴又由 x_2 移到 x_3 处,这样空穴就产生定向移动, $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3$,形成空穴电流。由于自由电子和空穴所带电荷极性不同,所以它们的运动方向相反,本征半导体中的电流是两个电流之和。

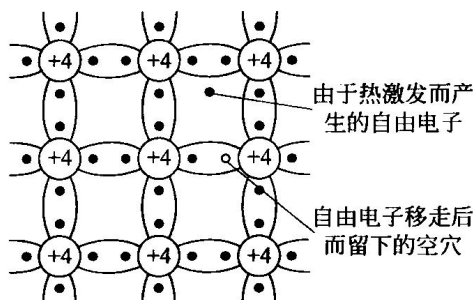


图 1-3 热激发产生自由电子-空穴对

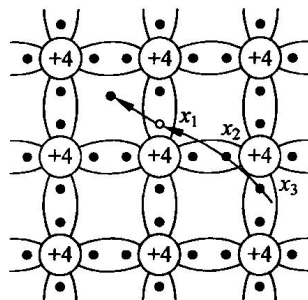


图 1-4 电子和空穴的移动

运载电荷的粒子称为载流子。导体导电只有一种载流子,即自由电子;而半导体有两种载流子,即自由电子和空穴,这是半导体导电的特殊性。

在本征半导体中,一方面由于热激发,自由电子-空穴对不断产生;另一方面,自由电子在运动过程中又会不断地填补空穴从而使自由电子-空穴对消失,这一过程称为复合。在一定温度下,自由电子-空穴对的产生和复合达到动态平衡,则半导体载流子的浓度维持一定水平。理论证明,本征半导体的载流子浓度随着温度的升高近似地按指数规律增加。因此,温度对半导体的导电性能影响很大。

1.1.3 杂质半导体

本征半导体中,由于热激发而产生的自由电子和空穴的数目是很少的,所以其导电性能很差。如果在本征半导体中掺入少量合适的杂质元素,便可使半导体的自由电子或空穴的数目大大增加,这种半导体称为杂质半导体。控制掺入杂质的浓度,便可控制杂质半导体的导电性能。

杂质半导体有以下两种:电子型半导体和空穴半导体。载流子以电子为主的半导体叫电子型半导体。因为电子带负电,取英文单词“负”(Negative)的第一个字母 N,所以电子型半导体又称为 N 型半导体。载流子以空穴为主的半导体叫空穴半导体。取英文单词“正”(Positive)的第一个字母 P,所以空穴半导体又称为 P 型半导体。下面以硅材料为例进行讨论。

1. N 型半导体

在本征半导体中掺入五价元素(如磷),使每一个五价元素取代一个四价元素在晶体中的位置,可以形成 N 型半导体。由于杂质原子的最外层是五个价电子,所以除了与周围四价原子形成共价键外,还多出一个电子,如图 1-5 所示。多出的电子不受共价键的束缚,只