

卓越工程师教育培养计划配套教材

工 程 基 础 系 列

电子技术

汪敬华 主编

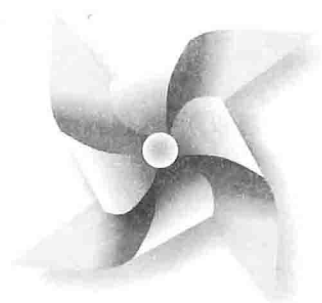
章 伟 陈国明 副主编



清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

工程基础系列



电子技术

汪敬华 主 编

章 伟 陈国明 副主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是根据2011年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会颁布的“电工学”课程教学基本要求中的电子技术部分编写而成,是为提高工程教育质量,更好服务于卓越工程师教育培养计划的配套教材。本书共8章,内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、放大电路中的负反馈、直流稳压电源、基本逻辑门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量和数字量的转换。本书内容简明,概念清楚,图文并茂,图形符号规范,例题习题丰富,各章节均有案例解析、思考题和小结。

本书可作为高等学校工科非电类专业的电子技术课程的教材或参考书,也可供其他工科专业选用和广大工程技术人员自学使用。

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

电子技术/汪敬华主编.--北京:清华大学出版社,2014

卓越工程师教育培养计划配套教材.工程基础系列

ISBN 978-7-302-35736-0

I. ①电… II. ①汪… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第060821号

责任编辑:庄红权

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

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

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:21.5

字 数:522千字

版 次:2014年5月第1版

印 次:2014年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:42.00元

卓越工程师教育培养计划配套教材

总编委会名单

主 任：丁晓东 汪 泓

副主任：陈力华 鲁嘉华

委 员：（按姓氏笔画为序）

丁兴国	王岩松	王裕明	叶永青	刘晓民
匡江红	余 粟	吴训成	张子厚	张莉萍
李 毅	陆肖元	陈因达	徐宝纲	徐新成
徐滕岗	程武山	谢东来	魏 建	

卓越工程师教育培养计划配套教材

——工程基础系列编委会名单

主 任：徐新成 程武山

副主任：张子厚 刘晓民 余 粟

委 员：（按姓氏笔画为序）

王明衍	刘立厚	朱建军	汤 彬	吴建宝
张学山	张敏良	张朝民	李 路	陈建兵
林海鸥	范晓兰	胡义刚	胡浩民	唐觉民
徐红霞	徐滕岗			



《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》明确指出“提高人才培养质量,牢固确立人才培养在高校工作中的中心地位,着力培养信念执著、品德优良、知识丰富、本领过硬的高素质专门人才和拔尖创新人才。……支持学生参与科学研究,强化实践教学环节。……创立高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的新机制。全面实施‘高等学校本科教学质量与教学改革工程’。”教育部“卓越工程师教育培养计划”(简称“卓越计划”)是为贯彻落实党的“十七大”提出的走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国等战略部署,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》实施的高等教育重大计划。“卓越计划”对高等教育面向社会需求培养人才,调整人才培养结构,提高人才培养质量,推动教育教学改革,增强毕业生就业能力具有十分重要的示范和引导作用。

上海工程技术大学是一所具有鲜明办学特色的地方工科大学。长期以来,学校始终坚持培养应用型创新人才的办学定位,以现代产业发展对人才需求为导向,努力打造培养优秀工程师的摇篮。学校构建了以产学研战略联盟为平台,学科链、专业链对接产业链的办学模式,实施产学合作教育人才培养模式,造就了“产学合作、工学交替”的真实育人环境,培养有较强分析问题和解决问题能力,具有国际视野、创新意识和奉献精神的高素质应用型人才。

上海工程技术大学与上海汽车集团公司、上海航空公司、东方航空公司、上海地铁运营有限公司等大型企业集团联合创建了“汽车工程学院”、“航空运输学院”、“城市轨道交通学院”、“飞行学院”,校企联合成立了校务委员会和院务委员会,企业全过程参与学校相关专业的人才培养方案、课程体系和实践教学体系的建设,学校与企业实现了零距离的对接。产学合作教育使学生每年都能够到企业“顶岗工作”,学生对企业生产第一线有了深刻的了解,学生的实践能力和社会适应能力不断增强。这一系列举措都为“卓越工程师教育培养计划”的实施打下了扎实基础。

自2010年教育部“卓越工程师教育培养计划”实施以来,上海工程技术大学先后获批了第一批和第二批5个专业8个方向的试点专业。为此,学校组成了由企业领导、业务主管与学院主要领导组成的试点专业指导委员会,根据各专业工程实践能力形成的不同阶段的特点,围绕课内、课外培养和学校、企业培养两条互相交叉、互为支撑的培养主线,校企双方共同优化了试点专业的人才培养方案。试点专业指导委员会聘请了部分企业高级工程师、技术骨干和高层管理人员担任试点专业的教学工作,参与课程建设、教材建设、实验教学建设等教学改革工作。



“卓越工程师教育培养计划配套教材——工程基础系列”是根据培养卓越工程师“具备扎实的工程基础理论、比较系统的专业知识、较强的工程实践能力、良好的工程素质和团队合作能力”的目标进行编写的。本系列教材由公共基础类、计算机应用基础类、机械工程专业基础类和工程能力训练类组成,共 24 册,涵盖了“卓越计划”各试点专业公共基础及专业基础课程。

该系列教材以理论和实践相结合作为编写的理念和原则,具有基础性、系统性、应用性等特点。在借鉴国内外相关文献资料的基础上,加强基础理论,对基本概念、基础知识和基本技能进行清晰阐述,同时对实践训练和能力培养方面作了积极的探索,以满足卓越工程师各试点专业的教学目标和要求。如《高等数学》适当融入“卓越工程师教育培养计划”相关专业(车辆工程、飞行技术)的背景知识并进行应用案例的介绍。《大学物理学》注意处理物理理论的学习和技术应用介绍之间的关系,根据交通(车辆和飞行)专业特点,增加了流体力学简介等,设置了物理工程的实际应用案例。《C 语言程序设计》以编程应用为驱动,重点训练学生的编程思想,提高学生的编程能力,鼓励学生利用所学知识解决工程和专业问题。《现代工程图学》等 7 本机械工程专业基础类教材在介绍基础理论和知识的同时紧密结合各专业内容,开拓学生视野,提高学生实际应用能力。《现代制造技术实训习题集》是针对现代化制造加工技术——数控车床、数控铣床、数控雕刻、电火花线切割、现代测量等技术进行编写。该系列教材强调理论联系实际,体现“面向工业界、面向世界、面向未来”的工程教育理念,努力实践上海工程技术大学建设现代化特色大学的办学思想和特色。

这种把传统理论教学与行业实践相结合的教学理念和模式对培养学生的创新思维,增强学生的实践能力和就业能力会产生积极的影响。以实施卓越计划为突破口,一定能促进工程教育改革和创新,全面提高工程教育人才培养质量,对我国从工程教育大国走向工程教育强国起到积极的作用。

陈关龙

上海交通大学机械与动力工程学院教授、博士生导师、副院长
教育部高等学校机械设计制造及自动化教学指导委员会副主任
中国机械工业教育协会机械工程及自动化教学委员会副主任



本书是根据教育部最新颁布的高等学校工科“电工学”课程教学基本要求,为进一步提高工程教育的质量,更好服务于我校卓越工程师教育培养计划,在上海工程技术大学电工教研室范小兰主编《电工电子技术——电子技术与计算机仿真》的基础上总结提高,重新修订编写而成。

本书编写的指导思想是:根据教学基本要求,在教学内容上力求透彻,并适当加以扩充,尝试在每章增加一些案例解析,加深学生对相关电子技术及其具体应用的理解。根据学生的学习和认识规律,在阐述上尽量由浅入深、循序渐进,对知识重点和难点,借助大量的图表,尽量详细讲解和推导,避免大的跳跃,便于学生课后自学和阅读。根据编者的教学实践和经验,对部分传统章节作了重新编写(如 2.2 节和 3.1.2 节等),希望有助于教师的课堂教学,也有利于学生对基本概念、基本原理和基本分析方法的理解和掌握。

本书共 8 章,各章的参考学时见下表。

章号	1	2	3	4	5	6	7	8	总计
学时	6	10	6	4	6	12	10	4	58

本书由上海工程技术大学电工教研室组织编写,汪敬华主编和统稿。其中:第 1 章由章伟编写;第 2 章由李毅和陈国明编写;第 3 章由王佳和陈国明编写;第 4 章由王艳新编写;第 5 章由梁艳编写;第 6、7、8 章由汪敬华编写。

本书由上海工程技术大学电工教研室范小兰老师审阅,并提出了宝贵意见和修改建议。在编写过程中,也得到了电工教研室其他老师的鼓励和帮助,以及工程实训中心相关领导的关心和支持,在此,一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请各兄弟院校的老师 and 广大读者批评指正,多提宝贵意见。

编 者

2014 年 3 月



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	2
1.1.3 PN 结	3
【思考题】	5
1.2 半导体二极管	5
1.2.1 基本结构	5
1.2.2 伏安特性	6
1.2.3 主要参数	7
1.2.4 应用	7
【思考题】	8
1.3 稳压二极管	9
1.3.1 稳压管的伏安特性	9
1.3.2 稳压二极管的主要参数	9
1.3.3 稳压管的应用	11
【思考题】	11
1.4 双极型晶体管	11
1.4.1 基本结构	12
1.4.2 电流放大原理	12
1.4.3 特性曲线	14
1.4.4 主要参数	17
1.4.5 复合晶体管	19
【思考题】	20
1.5 绝缘栅场效应晶体管	20
1.5.1 基本结构	20
1.5.2 工作原理	21



1.5.3	主要参数	23
1.5.4	场效应管与晶体管的区别	23
	【思考题】.....	24
1.6	其他半导体器件.....	24
1.6.1	发光二极管	24
1.6.2	光敏二极管	24
1.6.3	光电晶体管	24
1.6.4	光电耦合管	25
	【思考题】.....	26
1.7	案例解析.....	26
	【思考题】.....	30
	小结	31
	习题	31
第2章	基本放大电路	38
2.1	放大电路的概述.....	38
2.1.1	基本概念	38
2.1.2	基本组成	38
2.1.3	分析方法	39
2.1.4	主要技术指标	40
	【思考题】.....	43
2.2	共发射极基本放大电路.....	43
2.2.1	基本组成	43
2.2.2	静态分析	44
2.2.3	动态分析	50
	【思考题】.....	65
2.3	分压式固定偏置放大电路.....	65
2.3.1	基本组成	65
2.3.2	静态工作点的稳定	66
2.3.3	电路的分析	66
	【思考题】.....	69
2.4	射极输出器.....	70
2.4.1	基本组成	70
2.4.2	电路的分析	70
2.4.3	多级放大电路	72
	【思考题】.....	75
2.5	放大电路的三种组态及频率特性.....	75
2.5.1	三种组态	75
2.5.2	三种基本组态的比较	78



2.5.3 频率特性	79
【思考题】.....	80
2.6 场效应管的放大电路.....	80
2.6.1 场效应管放大电路的三种组态	80
2.6.2 直流偏置电路和静态分析	81
2.6.3 动态分析	82
【思考题】.....	84
2.7 案例解析.....	84
【思考题】.....	87
小结	88
习题	88
 第3章 集成运算放大器	 97
3.1 概述.....	97
3.1.1 基本结构	98
3.1.2 差动放大电路.....	100
3.1.3 主要参数.....	106
3.1.4 电压传输特性.....	107
【思考题】	109
3.2 集成运放在模拟信号运算方面的应用	109
3.2.1 比例运算电路.....	109
3.2.2 加法运算电路.....	111
3.2.3 减法运算电路.....	112
3.2.4 积分运算.....	113
3.2.5 微分运算.....	114
【思考题】	115
3.3 集成运算放大器在信号比较方面的应用	115
3.3.1 单限电压比较器.....	115
3.3.2 过零比较器.....	115
3.3.3 滞回比较器.....	116
【思考题】	117
3.4 集成运算放大器的合理使用	117
【思考题】	119
3.5 案例解析	119
【思考题】	122
小结.....	123
习题.....	123



第4章 放大电路中的负反馈	131
4.1 反馈的基本概念	131
4.1.1 反馈的定义	131
4.1.2 反馈的分类	134
【思考题】	139
4.2 交流负反馈的四种组态	140
4.2.1 串联电压负反馈	141
4.2.2 并联电压负反馈	142
4.2.3 串联电流负反馈	143
4.2.4 并联电流负反馈	143
【思考题】	146
4.3 负反馈对放大电路工作性能的影响	146
4.3.1 降低放大倍数	146
4.3.2 提高放大倍数的稳定性	146
4.3.3 改善波形失真	147
4.3.4 展宽通频带	148
4.3.5 对输入电阻的影响	148
4.3.6 对输出电阻的影响	149
【思考题】	152
4.4 案例解析	152
【思考题】	156
小结	157
习题	157
第5章 直流稳压电源	163
5.1 基本组成	163
【思考题】	164
5.2 整流电路	164
5.2.1 单相半波整流电路	164
5.2.2 单相桥式整流电路	165
5.2.3 三相桥式整流电路	167
【思考题】	170
5.3 滤波器	170
5.3.1 电容滤波器	170
5.3.2 电感电容滤波器(LC滤波器)	172
5.3.3 π 形滤波器	173
【思考题】	173
5.4 直流稳压电路	174



5.4.1	稳压二极管稳压电路	174
5.4.2	串联型直流稳压电路	175
5.4.3	集成稳压电路	176
	【思考题】	178
5.5	案例解析	178
	小结	180
	习题	180
第6章	基本逻辑门电路和组合逻辑电路	185
6.1	数字电路概述	185
6.1.1	模拟信号和数字信号	185
6.1.2	脉冲信号	185
6.1.3	晶体管的开关特性	186
6.1.4	数制及其转换	186
	【思考题】	189
6.2	逻辑门电路	189
6.2.1	基本逻辑关系和逻辑门电路	189
6.2.2	TTL 门电路	195
6.2.3	CMOS 门电路	201
6.2.4	不同类型逻辑门电路的连接	203
	【思考题】	205
6.3	逻辑函数的表示和化简	205
6.3.1	逻辑代数的基本运算法则	205
6.3.2	逻辑函数的表示及相互转换	206
6.3.3	逻辑函数的化简	211
	【思考题】	216
6.4	组合逻辑电路的分析和设计	216
6.4.1	组合逻辑电路的分析	216
6.4.2	组合逻辑电路的设计	218
6.4.3	组合逻辑电路的设计应用实例	220
	【思考题】	224
6.5	组合逻辑器件	224
6.5.1	加法器	224
6.5.2	编码器	227
6.5.3	译码器	229
6.5.4	数据选择器和数据分配器	234
	【思考题】	238
6.6	案例解析	239
	【思考题】	240



小结	241
习题	241

XIV

第 7 章 触发器和时序逻辑电路	249
------------------	-----

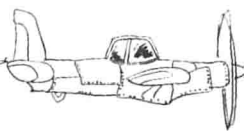
7.1 双稳态触发器	249
7.1.1 基本 RS 触发器	249
7.1.2 可控 RS 触发器	252
7.1.3 JK 触发器	254
7.1.4 D 触发器	257
7.1.5 触发器逻辑功能的转换与设计	259
【思考题】	261
7.2 时序逻辑电路的分析和设计	261
7.2.1 时序逻辑电路的分析	261
7.2.2 时序逻辑电路的设计	265
7.2.3 时序逻辑电路的应用实例	267
【思考题】	268
7.3 寄存器	268
7.3.1 数码寄存器	268
7.3.2 移位寄存器	269
【思考题】	273
7.4 计数器	273
7.4.1 二进制计数器	273
7.4.2 十进制计数器	278
7.4.3 任意进制计数器	281
【思考题】	284
7.5 由 555 定时器组成的单稳态触发器和无稳态触发器	284
7.5.1 555 定时器	284
7.5.2 由 555 定时器组成的单稳态触发器	286
7.5.3 由 555 定时器组成的无稳态触发器	288
【思考题】	289
7.6 案例解析	289
小结	291
习题	291

第 8 章 模拟量和数字量的转换	302
------------------	-----

8.1 模/数和数/模转换的概念	302
【思考题】	302
8.2 D/A 转换器	303
8.2.1 D/A 转换器的基本原理	303



8.2.2	权电阻网络 D/A 转换器	304
8.2.3	R/2R 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	305
8.2.4	双极性输出 D/A 转换器	306
8.2.5	集成 D/A 转换器	308
8.2.6	D/A 转换器的主要技术指标	309
	【思考题】	310
8.3	A/D 转换器	310
8.3.1	A/D 转换的基本原理	310
8.3.2	并行比较型 A/D 转换器	313
8.3.3	逐次逼近型 A/D 转换器	314
8.3.4	双积分型 A/D 转换器	317
8.3.5	集成 A/D 转换器	319
8.3.6	A/D 转换器的主要技术指标	321
	【思考题】	321
8.4	案例解析	322
	小结	323
	习题	323
	参考文献	326



半导体器件

半导体器件是电子技术的基础。各种各样的电子线路的研发与设计总是离不开半导体器件的运用。电子技术发展到今天的水平,首先应该归功于半导体器件的发展。本章首先介绍了半导体的基本性能和特点,然后讨论了PN结的结构和特性,最后介绍了半导体二极管、晶体管、场效应管及光电器件,为后续章节的学习打下基础。

1.1 半导体基础知识

在相同条件下,物质的导电特性主要取决于其原子结构。铜、铁等金属为导体,其原子最外层电子受原子核的束缚力很小,极易挣脱原子核的束缚成为自由电子,呈现较好的导电特性。橡胶、塑料等材料为绝缘体,其最外层电子受原子核的束缚力很强,极不易摆脱原子核的束缚成为自由电子,因此其导电性很差。除导体和绝缘体外,还有一类物质,它的原子最外层电子受原子核束缚的程度介于导体和绝缘体之间,因此其导电能力也介于两者之间,这就是所谓半导体。通常,半导体的电阻率为 $10^{-4} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{m}$ 。在自然界中,属于半导体的材料很多,常用的有硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)、砷化镓(GaAs)等。硅和锗都是4价元素,其中以硅用得最广泛,在以后的讨论中,常以硅为例。

半导体材料的导电能力在不同条件下差异很大。有些半导体对外界温度的变化特别灵敏,温度升高,其导电能力增强。例如纯锗,温度每升高 10°C ,其电阻率就减少到原来的一半。利用这种特性可生产各种热敏元件。有些半导体受到光照和不受光照,其导电能力差别很大。例如常用的硫化镉半导体光敏电阻,在无光照时电阻高达几十兆欧,受到光照时电阻减少到几十千欧。利用这种特性可生产各种光敏元件。如果在纯净的半导体中掺入某些微量杂质可使其导电能力增加几十万至几百万倍。例如在纯硅中掺入百万分之一的硼元素,电阻率大约减小到原来的百万分之一。利用这种特性可做成各种实用的半导体器件,如二极管、晶体管和场效应管等。

为了揭示半导体导电能力变化显著的原因,有必要简单介绍一下半导体物质的内部结构和导电机理。

1.1.1 本征半导体

常用的半导体材料为硅和锗,其原子结构如图1.1.1(a)、(b)所示。硅和锗的最外层有



4 个价电子,是 4 价元素。为便于讨论,采用图 1.1.1(c)所示的简化原子结构模型。

硅和锗材料经过高纯度的提炼后,形成不含杂质的单晶体,所有原子整齐排列,其空间排列结构如图 1.1.2 所示。通常,半导体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。本征半导体就是这种完全纯净、具有晶体结构的半导体。在本征半导体的晶体结构中,每一个原子与相邻的 4 个原子结合,每一个原子的一个价电子与另一原子的一个价电子组成一个电子对,形成晶体中的共价键结构,其平面示意图如图 1.1.3 所示。

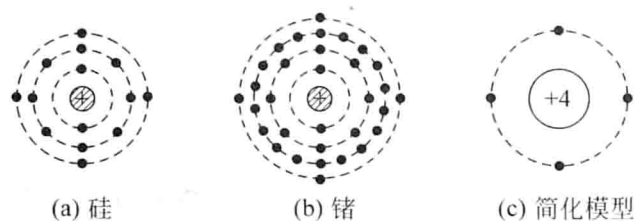


图 1.1.1 硅和锗的原子结构及其简化模型

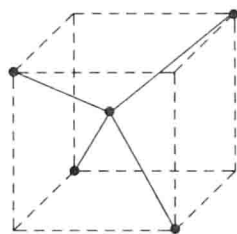


图 1.1.2 硅晶体的原子空间排列

在热力学温度 $T=0\text{K}$ 和无外界能量激发的条件下,每个价电子没有能力脱离共价键的束缚而成为自由电子,这时半导体不能导电,如同绝缘体。但如果温度升高或受到光照时,某些共价键中的价电子从外界获得足够的能量,摆脱共价键束缚而成为自由电子,同时在共价键中留下空位,称为空穴。当共价键中出现了空穴后,邻近共价键中的价电子就填补到这个空位上,而在该价电子的原来位置上出现了新的空穴,接着其他价电子又可能来到这个新的空穴,这种过程持续,就相当于一个空穴在晶体中移动,如图 1.1.4 所示。原子本来是电中性的,自由电子负电荷离开后,空穴可看成带正电荷的载流子。

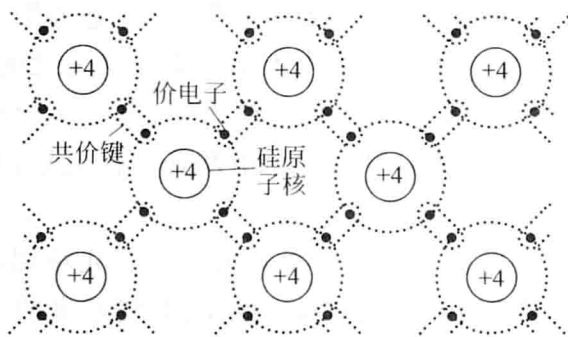


图 1.1.3 硅的共价键结构示意图

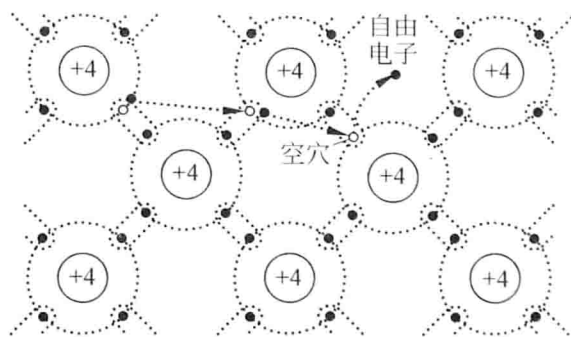


图 1.1.4 硅晶体中的两种载流子

在外电场作用下,带负电荷的自由电子产生定向移动,形成电子电流;另一方面,价电子也按一定方向依次填补空穴,相当于空穴产生了定向移动,形成空穴电流。

由此可见,半导体中存在两种载流子:自由电子和空穴。在本征半导体中,自由电子和空穴成对出现,同时又不断复合。在一定温度下,载流子的产生和复合达到动态平衡,使载流子的浓度一定。随着温度升高,载流子的浓度按指数规律增加。因此,半导体的导电性能受温度影响很大。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体中载流子的浓度很低,因此其导电能力很差。但如果在本征半导体中掺入