

即学即用 电工电子技术丛书



轻松学
同步用

电子技术

© 陈永甫 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

即学即用 电工电子技术丛书

轻松学同步用电子技术

陈永甫 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据劳动和社保部的《职业技能鉴定规范》中对电子、电气等相关工种的知识要求编写的。本书的主要内容有：半导体二极管及其应用，半导体三极管及其放大电路，功率放大器，集成运算放大器， LC 、 RC 正弦波振荡器和石英晶体振荡器，压电系列元器件，太阳能电池，直流稳压电源。这些内容是从事电子、电气、通信、自动化等专业不可缺少的基础知识。

为配合所学内容，理论联系实际、学用结合，每章末尾均配有同步自测练习题，它涵盖了本章的各主要知识点、重要定理和典型电路，即学即用。题后附有各题的参考答案，解题思路清晰，解题过程完整，答案精准，便于办班培训或自学。

本书的编写以突出应用性为出发点，侧重讲清物理概念，尽量淡化烦琐的数学推导，图文结合，语言通俗，深入浅出，学用结合，易学易懂，融知识性、趣味性和实用性为一体，适合具有中等文化程度的读者学习。本书可作为电子、电气、通信、自动化行业从业人员的上岗、转岗、晋级培训及学习用书，也可供相关职业院校、技校的师生和相关行业的技师、技工及广大电子爱好者学习参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

轻松学同步用电子技术/陈永甫编著. —北京：电子工业出版社，2015.2
(即学即用电工电子技术丛书)

ISBN 978-7-121-25128-3

I. ①轻… II. ①陈… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 294345 号

策划编辑：柴 燕 (chaiy@phei.com.cn)

责任编辑：韩玉宏

印 刷：北京天来印务有限公司

装 订：北京天来印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：21.5 字数：550 千字

版 次：2015 年 2 月第 1 版

印 次：2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价：59.80 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前 言

随着时代的发展，电子技术在国民经济的各个领域所起的作用越来越大，并深深地渗透到人们的生活、工作、学习的方方面面：从居家的高清晰电视、高保真度 CD 机、Hi-Fi 影视机、4G 手机、100M 宽带网，到室外天空的飞机、GPS 定位卫星、太空航天器、宇宙飞船的无线电遥控遥测，电子技术的应用举目可见、无处不在。

在电子技术广泛应用的今天，懂得电子学的一些基础知识，是每个国民应具备的素质，是时代的要求。对于初涉电子、电气行业的从业人员和电子爱好者，学习并掌握一定的电子技术知识和技能，是做好本职工作的需要。

电子是人眼不能直接观察到也摸不到的精微物质，电子从哪里来？电子流怎样流动？半导体 PN 结何以将交流整流成直流？而内有两个 PN 结的三极管何以能对弱信号进行高倍数放大？太阳能光伏电池是什么？这种半导体 PN 结何以能将光能转化成电能？太阳能光伏阵列如何并入国家电网？…… these 问题是“电子技术”课程研究的范畴。

“电子技术”是研究各种半导体器件、电子电路及其应用的学科，是从事或学习电子、电力工程、通信、雷达、遥控遥测、自动化等专业必修的技术基础课。根据作者多年来从事电子工程设计、教学和技能培训的经验和心得体会，参考劳动和社保部颁发的《职业技能鉴定规范》和《技术等级标准》中对电气、电子等相关工种的知识要求和技能要求的内容，决定了本书的 8 章内容：半导体二极管及其应用，半导体三极管及其放大电路，功率放大器，集成运算放大器，LC、RC 正弦波振荡器和石英晶体振荡器，压电系列元器件，太阳能电池，直流稳压电源。

本书的每章均由如下四部分组成。

(1) 知识结构图：归纳、概括了本章的主要内容和各相关知识点、重要定理（定义）、运用公式，使读者从每章一开始便了解到本章的核心内容和各部分间的来龙去脉及其内在联系，对本章的核心内容、各主要知识点、难点一目了然。

(2) 课程基本内容：针对电子、电气行业在岗技能培训人员和刚从事电子技术工作的就业人员及具有中等文化程度的电子爱好者，在编写本书时，尽量做到内容取舍得当，难易适中，突出技术性、应用性的特点，着重阐明物理概念，力求突出问题的实质，淡化烦琐的数学推导，让初涉电子技术的读者入门快、看得懂、学得会、记得牢、用得上、学用结合、融会贯通、与时俱进。

(3) 章节内的例题：为配合书中的重要内容，紧密联系实际，选配了一些具有代表性的

例题，通过对例题的解题分析，引导读者归纳出解题的方法和技巧，提高分析和解决问题的能力，具有举一反三、触类旁通的作用。

(4) 同步自测练习题及参考答案：为学用结合，在每章末尾都配备了适量的同步自测练习题，以巩固和加深理解所学内容。对于稍难的题，还有解题提示，在分析题意的基础上，给出了解题的思路或方法，引导读者进行分析、归纳，提高解题技巧。

本书由陈永甫教授主笔，谭秀华教授审核，陈一民、张梦儒参加了编写工作。由于书中内容涉及面广，加之水平有限，难免存在疏漏之处或错误，恳请广大读者批评、指正。

作者于河大紫园

2015年1月

关于书中相关栏目的说明

◆ **各章知识结构**：每章始页绘出了该章的知识结构图，它概括了该章的知识内容、重要定理、推理、公式和主要知识点。读者只需浏览片刻，就能迅速了解该章的重要知识点，理清各知识点之间的脉络联系及体系结构。

◆ **要点**：位于每节的开始，点明该节的实质内容或结论，以利于读者了解该节所讲述的中心内容和精髓所在。

◆ **例题**：结合内容，列举典型例题，有助于深入理解课程内容，消化所学知识，并从中学习解决问题的方法，提高分析问题的能力。

◆ **相关知识**：穿插于各章节之中，对与所讲内容相关的知识或连带的技术（信息）进行扼要说明或介绍，加强知识间的联系，拓宽知识面。

◆ **应用知识**：穿插于各章节之中，结合书中内容，联系实际，列举应用实例或典型现象，进行简短说明或分析，学用结合，提高读者的应用能力和动手制作能力。

◆ **图表的使用**：为了便于理解所讲内容，书中安插了大量配图，图形绘制精细，表达确切，图文结合，易学易懂；书中还配备了大量数据表格，资料来源确切、翔实，可直接用来进行电路计算或工程设计。

◆ **解题提示**：对有代表性的例题和较难的练习题，从分析其题意（或电路模型）、给定条件和求证（结果或结论）之间的关系入手，引导读者分析前因后果关系，理清解题思路，找出问题的症结所在，给出解决问题的方法。

◆ **题后分析**：有些习题可能有多解或思路不同的解法（或做法）。题后进行讨论、分析、比较，一则引导读者广开思路，找出最简解法（或做法），提升综合分析能力；二则通过归纳解题技巧和做题方法，提高读者解题的思维技巧，巩固所学，做到融会贯通，达到触类旁通的功效。

目 录

第 1 章 半导体二极管及其应用	1
1.1 半导体 PN 结	2
1.1.1 本征半导体、N 型半导体和 P 型半导体	2
1.1.2 半导体器件的核心——PN 结	4
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 二极管的基本结构和电路图形符号	6
1.2.2 二极管的 $V-A$ 特性	7
1.2.3 半导体二极管的主要技术参数	8
1.2.4 测量二极管	8
1.3 半导体二极管的常见应用	9
1.3.1 整流二极管	10
1.3.2 检波二极管	12
1.3.3 稳压二极管	14
1.3.4 发光二极管 (LED)	17
1.3.5 变色发光二极管	21
同步自测练习题	24
自测练习题参考答案	26
第 2 章 半导体三极管及其放大电路	28
2.1 半导体三极管	29
2.1.1 三极管的基本结构、种类和电路图形符号	29
2.1.2 三极管的电流放大作用与电流分配	31
2.1.3 三极管的 $V-A$ 特性	33
2.1.4 三极管的主要技术参数	36
2.1.5 三极管的识别、管型判断及 h_{FE} 测量	38
2.1.6 三极管的使用注意事项	40
2.2 基本放大电路分析	42
2.2.1 放大作用的实质	42
2.2.2 共发射极基本放大电路	43
2.2.3 直流通路和交流通路	44
2.2.4 静态工作点的分析	46
2.2.5 静态工作点的确定方法	46
2.2.6 放大电路的动态分析	48
2.2.7 微变等效电路法	51
2.3 稳定工作点放大电路	54
2.3.1 分压偏置式共发射极放大电路	54

2.3.2	稳定静态工作点 Q 的分析	55
2.3.3	静态工作点的估算	55
2.3.4	用微变等效电路进行动态分析	56
2.4	多级放大电路	57
2.4.1	多级放大电路的组成	57
2.4.2	多级放大电路的耦合方式	57
2.4.3	两级阻容耦合放大电路	59
2.4.4	多级阻容耦合放大电路	60
	同步自测练习题	63
	自测练习题参考答案	65
第 3 章	功率放大器	72
3.1	功率放大电路的特点与分类	73
3.1.1	对功率放大电路的要求	73
3.1.2	功率放大电路的分类	73
3.1.3	功率放大器的工作点及其工作状态	74
3.2	单管甲类功率放大器	75
3.3	变压器耦合乙类推挽功率放大器	78
3.3.1	推挽功率放大电路的组成及工作原理	79
3.3.2	乙类推挽放大器的图解分析	79
3.3.3	乙类推挽功放电路计算	81
3.3.4	变压器耦合乙类功放——手提式 3W 喊话筒电路	83
3.4	无输出变压器功率放大器 (OTL 电路及 OCL 电路)	85
3.4.1	单端推挽 OTL 电路	85
3.4.2	单电源互补对称功率放大器	86
3.4.3	复合互补对称推挽 OTL 电路	87
3.4.4	双电源互补对称 OCL 功率放大电路	89
3.4.5	OTL 型和 OCL 型功放应用电路	90
3.5	互补对称功放电路中的功率管配对和选用	93
3.6	常用单通道集成功率放大器	96
3.6.1	集成功率放大器概述	96
3.6.2	单通道集成功率放大器的型号和参数	96
3.6.3	LA4100 系列集成音频功率放大器	98
3.6.4	单通道 1~5W 优质音响集成功率放大器	104
3.7	双声道集成音频功率放大器	106
3.7.1	常用双声道集成功率放大器的型号和参数	106
3.7.2	几款优质双声道功率放大器应用电路	107
3.8	STK 系列厚膜音频功率放大器	110
3.8.1	高保真度双声道厚膜集成功率放大器 STK4141	110
3.8.2	单电源供电双声道厚膜集成功率放大器 STK4392	113
3.8.3	高保真度厚膜集成功率放大器 STK4036V	115
3.9	高保真度高性价比的双通道集成功率放大器 TDA1521	117
3.9.1	TDA1521 的特点	117
3.9.2	TDA1521 的主要参数	118

3.9.3	TDA1521 双电源双声道 OCL 功放电路	118
3.9.4	TDA1521 单电源双声道 OTL 功放电路	119
3.10	性能优异的大功率集成功率放大器 LM1875	119
3.10.1	LM1875 的外形和主要参数	120
3.10.2	LM1875 双电源 OCL 功放电路	120
3.10.3	LM1875 单电源 OTL 功放电路	121
3.10.4	由两只 LM1875 构成的桥式推挽 BTL 功放电路	121
3.11	12W 优质集成功率放大器 D2006	122
3.11.1	集成功放 D2006 简介	122
3.11.2	D2006 双电源 OCL 互补对称功放电路	123
3.11.3	D2006 单电源 OTL 功放电路	123
3.11.4	D2006 桥式推挽 BTL 功放电路	124
3.12	优质单片式 14W 集成音频功率放大器 TDA2030	125
3.12.1	TDA2030 的性能特点	125
3.12.2	TDA2030 (8FG2030) 的内部组成及引脚功能	126
3.12.3	由 TDA2030 构成的 OCL 功放电路 (双电源应用)	127
3.12.4	由 TDA2030 构成的 OTL 功放电路 (单电源应用)	128
3.12.5	由两只 TDA2030 构成的桥式推挽 BTL 功放电路	128
3.13	40W 立体声音频集成功放 LM4766	129
3.13.1	集成功放 LM4766 的主要参数和外形	129
3.13.2	LM4766 双电源 OCL 功放电路	130
3.13.3	LM4766 单电源 OTL 功放电路	131
3.13.4	LM4766 桥式推挽 BTL 功放电路	132
3.14	高性价比的小功率集成音频放大器 LM386	133
3.14.1	LM386 集成功率放大器的特点	133
3.14.2	LM386 的外形及参数	133
3.14.3	LM386 的典型应用电路	134
3.15	小巧的低电压双声道集成功率放大器 TDA2822M	135
3.15.1	TDA2822M 双声道集成功放的特点	135
3.15.2	TDA2822M 的引脚排列及主要参数	136
3.15.3	采用 TDA2822M 的直放式收音机电路	137
	同步自测练习题	138
	自测练习题参考答案	141
第 4 章	集成运算放大器	147
4.1	集成运算放大器的基本知识	148
4.1.1	集成运算放大器的由来及特点	148
4.1.2	集成运算放大器的组成	148
4.1.3	集成运算放大器的电路图形符号	149
4.1.4	集成运算放大器的分类	149
4.1.5	封装形式	151
4.1.6	集成运算放大器的主要性能参数	151
4.2	差分放大器基本电路	152
4.3	常用差分放大电路	155

4.3.1	具有公共发射极电阻的差分放大电路	155
4.3.2	具有恒流源的差分放大电路	156
4.4	传输特性与理想化处理办法	158
4.4.1	集成运放的理想化条件	158
4.4.2	理想运放的电路图形符号及电压传输特性	159
4.4.3	“虚短”和“虚断”	159
4.4.4	运放在饱和区工作时的特点	160
4.4.5	实际运放的传输特征及与理想运放的比较	160
4.5	线性应用	162
4.5.1	反相比例运算电路	162
4.5.2	同相比例运算电路	163
4.5.3	加法运算电路	164
4.5.4	减法运算电路	165
4.5.5	积分运算电路	166
4.5.6	微分运算电路	166
4.6	非线性应用	168
4.6.1	工作在非线性状态下的集成运放	169
4.6.2	电压比较器	169
4.6.3	在波形产生方面的作用	172
4.7	正确使用及防护措施	175
4.7.1	集成运放的合理选用	175
4.7.2	使用前的资料查询与准备	175
4.7.3	调零措施	176
4.7.4	自激振荡的消除	176
4.7.5	集成运放的保护措施	177
	同步自测练习题	178
	自测练习题参考答案	181
第5章	<i>LC</i> 、 <i>RC</i> 正弦波振荡器和石英晶体振荡器	186
5.1	正弦波振荡器的本质	187
5.1.1	从放大器到自激振荡器	187
5.1.2	正弦波振荡器的组成及振荡建立过程	187
5.1.3	正常振荡的两个条件	188
5.1.4	振荡器的起振及自动稳幅	188
5.1.5	振荡器的主要性能指标	188
5.2	<i>LC</i> 正弦波振荡电路	189
5.2.1	变压器反馈式 <i>LC</i> 振荡电路	189
5.2.2	电感三点式振荡电路	191
5.2.3	电容三点式振荡电路	191
5.2.4	并联改进型电容三点式振荡电路	193
5.2.5	实用 <i>LC</i> 正弦振荡器电路分析和计算	194
5.3	<i>RC</i> 正弦波振荡电路	197
5.3.1	<i>RC</i> 移相式正弦波振荡器	197
5.3.2	<i>RC</i> 桥式正弦波振荡器	199

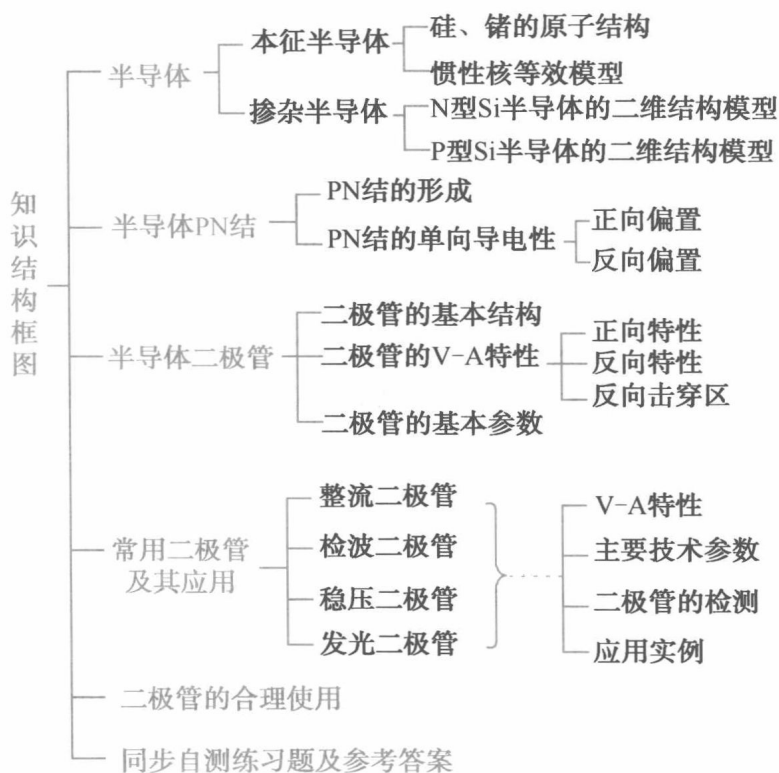
5.3.3	实用 RC 正弦波振荡电路剖析	203
5.4	石英晶体振荡器	205
5.4.1	石英晶体谐振器的外形和等效电路	205
5.4.2	石英晶体谐振器的频率特性	206
5.4.3	石英晶体谐振器的种类及主要技术参数	207
5.4.4	晶振电路	209
5.4.5	5MHz 串联谐振型晶体振荡器	211
5.4.6	ZGU-5 型 5MHz 并联谐振型晶体振荡器	212
5.4.7	标准秒时钟信号发生器电路	212
5.4.8	石英晶体谐振器的检测	213
5.4.9	石英晶体使用注意事项	214
	同步自测练习题	216
	自测练习题参考答案	219
第 6 章	压电系列元器件	224
6.1	陶瓷滤波器	225
6.1.1	陶瓷片的压电效应	225
6.1.2	二端陶瓷滤波器	226
6.1.3	三端陶瓷滤波器	227
6.1.4	耦合子型三端陶瓷滤波器	228
6.1.5	陶瓷滤波器的主要性能参数	229
6.1.6	陶瓷滤波器的检测与好坏判断	229
6.2	陶瓷陷波器、鉴频器	232
6.2.1	陶瓷陷波器	232
6.2.2	陶瓷鉴频器	234
6.3	压电蜂鸣器	235
6.3.1	发声原理和结构	235
6.3.2	交流电漏电声光报警电路	236
6.3.3	袖珍音乐贺卡	237
6.3.4	压电陶瓷片的检测	238
6.4	声表面波滤波器	240
6.4.1	结构和电路图形符号	240
6.4.2	工作原理	241
6.4.3	特点及主要性能参数	241
6.4.4	检测	242
6.4.5	实际应用	242
6.5	声表面波延迟线	243
6.5.1	信号延迟线	244
6.5.2	声表面波延迟线的组成与分类	244
6.5.3	声表面波延迟线的类型	244
6.5.4	一行延迟线	245
6.5.5	检测、选用及代换	247
	同步自测练习题	249
	自测练习题参考答案	250

第7章 太阳能电池	254
7.1 什么是太阳能电池	255
7.2 太阳能电池的种类及特征	256
7.2.1 单晶硅电池	256
7.2.2 多晶硅电池	257
7.2.3 非晶硅太阳能电池	258
7.3 单晶硅太阳能电池的制作、基本结构及光电转换机理	259
7.3.1 单晶硅的拉制与切片	259
7.3.3 太阳能电池发电及爱因斯坦的光量子理论	263
7.4 太阳能电池片的PN结的结构及其光生伏特效应	264
7.4.1 太阳能电池的PN结的结构	264
7.4.2 硅光电池PN结的光生伏特效应	265
7.5 常见的太阳能硅光电池	266
7.6 硅光电池的检测及使用注意事项	268
7.6.1 硅光电池的简易检测	268
7.6.2 硅光电池的使用注意事项	269
7.7 太阳能电池阵列的设计及使用方法	270
7.7.1 单体电池、电池组件及电池方阵	270
7.7.2 太阳能电池方阵的设计	270
7.7.3 太阳电池的使用方法	270
7.8 太阳能光伏发电—储能控制器	271
7.8.1 单路旁路型太阳能光伏发电—储能控制器	271
7.8.2 单路串联型太阳能光伏发电—储能控制器	273
7.9 太阳能光伏发电的实际应用	273
同步自测练习题	281
自测练习题参考答案	282
第8章 直流稳压电源	288
8.1 交流如何变直流	289
8.2 整流电路	289
8.2.1 单相半波整流电路	289
8.2.2 单相全波整流电路	290
8.2.3 单相桥式整流电路	291
8.2.4 单相二倍压整流电路	293
8.2.5 单相五倍压整流电路	293
8.3 三相整流电路	294
8.3.1 三相半波整流电路	295
8.3.2 三相桥式整流电路	296
8.4 滤波电路	297
8.4.1 电容滤波电路	298
8.4.2 LC- π 型滤波电路	299
8.5 基本稳压电路	301
8.5.1 并联型稳压电路	301
8.5.2 简易串联型晶体管稳压电路	304

8.5.3 串联反馈式稳压电路	305
8.6 三端集成稳压器	308
8.6.1 固定输出三端集成稳压器	308
8.6.2 可调式三端集成稳压器	310
8.7 开关电源	312
8.7.1 开关电源与线性电源的比较	312
8.7.2 开关电源的主要工作方式	313
8.7.3 串联型开关稳压电路	313
8.7.4 并联型开关稳压电路	315
8.7.5 集成开关稳压器	316
8.7.6 脉宽调制 (PWM) 控制器	317
8.7.7 UC1842 构成的通用开关稳压电路	318
同步自测练习题	319
自测练习题参考答案	322
参考文献	329

半导体二极管及其应用

本章知识结构





1.1 半导体 PN 结

要点

半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质，它可分为本征半导体、P 型半导体和 N 型半导体。P 型、N 型半导体的导电能力远高于本征半导体，使用特殊工艺可在 P 型和 N 型半导体界面处形成 PN 结。

1.1.1 本征半导体、N 型半导体和 P 型半导体

价电子
惯性核

在半导体器件中，最常用的是硅 (Si) 和锗 (Ge) 的单晶体。锗和硅的单个原子结构示意图如图 1.1 (a) 和图 1.1 (b) 所示。电子在原子核的周围形成轨道。锗和硅原子最外层的电子 (称为价电子) 数都是 4 个，即有 4 个价电子。因此锗和硅的原子价是 4 价。图 1.1 (c) 是带正电荷的惯性核及其最外层的价电子构成的简化后的惯性核等效模型。图中的 “+4” 表示除外层的价电子外，所有内层电子和原子核所具有的电荷量，而整个原子呈中性。

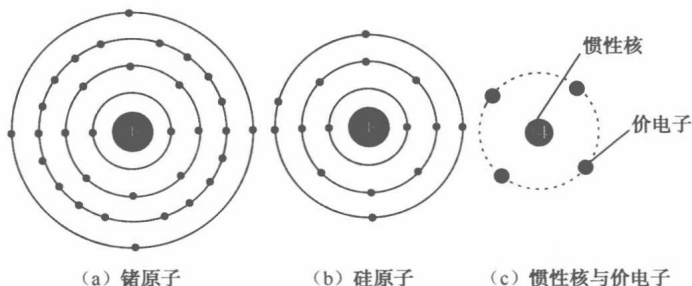


图 1.1 锗和硅单个原子的结构及惯性核等效模型示意图

1. 本征半导体

单晶硅、锗为 4 价电子

本征半导体硅是纯净晶体结构的单晶硅。在它的晶体结构中，每个原子之间相互结合，构成一种相对稳定的共价键结构，如图 1.2 所示。单晶硅和单晶锗中每个原子最外层的 4 个价电子同时受两个原子核的束缚，为它们所“共有”，

共价键

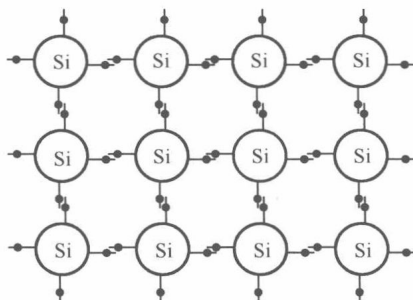


图 1.2 单晶硅 (Si) 的共价键结构二维模型

Si 二维模型



故称为“共价键”。这样一来，原子的最外层轨道上出现了图 1.2 所示 8 个价电子的稳定原子结构。

在本征半导体中，常温 ($T = 300\text{K}$ ，即 $t = 25^\circ\text{C}$) 下，只有极少量的共价电子能够挣脱共价键束缚，产生的电子 - 空穴对的数量很少，导电能力差，难以制造有实用价值的半导体器件。

2. N 型半导体 (电子型半导体)

在本征半导体硅 (或锗) 中掺入极其微量 (同硅的重量比约为 1:1000000) 的砷 (As)、磷 (P) 或锑 (Sb) 等 5 价杂质原子时，其二维结构模型如图 1.3 所示。

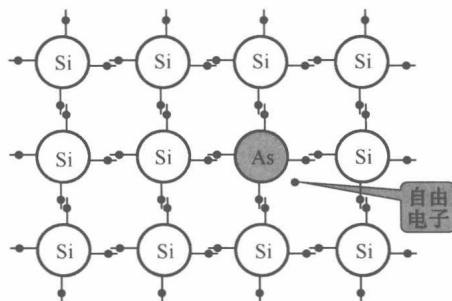


图 1.3 N 型半导体硅 (Si) 的二维结构模型

掺入的 As 原子在本征半导体中给出了一个多余的电子，故称 As 为施主杂质。每个施主原子在给出一个自由电子后成为一个带正电荷的离子，该正离子被固定在晶格中不能移动 (由于共价键的束缚)，因而无法参与导电。这样，在本征半导体中掺入微量的 5 价元素就可在半导体中产生大量的自由电子，使其导电能力大大增强。这种以电子为多数载流子的杂质半导体，因其以带负电的电子导电，故称为 N (取 negative 的首个字母) 型半导体，或称电子型半导体。

3. P 型半导体 (空穴型半导体)

在本征半导体硅 (Si) 或锗 (Ge) 中掺入微量的镓 (Ga) 或硼 (B) 等 3 价元素，就形成了 P 型半导体。镓 (或硼) 原子有 3 个价电子，与相邻的 4 个硅原子组成共价键时，因缺少一个价电子而出现一个空位。当相邻共价键上的电子受到热振动和在其他激发条件下获取能量时，就有可能填补这个空位，而使相邻原子形成一个空穴，如图 1.4 所示。

在 P 型半导体中，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子，导电以空穴为主，故 P 型半导体也称为空穴半导体。

在 P 型半导体 (或 N 型半导体) 内部有大量带正电的

本征半导体中掺入 5 价原子 As

掺入 5 价元素使导电能力增强

N 型半导体

P 型半导体

本征半导体中掺入 3 价元素

P 型半导体
(空穴半导体)



在无激发状态下均呈现中性

空穴（或带负电的自由电子），但由于带有相反极性电荷的杂质离子的平衡作用，无论是P型半导体还是N型半导体，对外均呈现电中性。

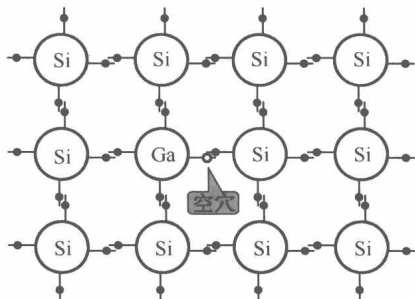


图 1.4 P 型半导体硅 (Si) 的二维结构模型

1.1.2 半导体器件的核心——PN 结

杂质半导体虽然使半导体的导电能力有所增强，但单一的P型或N型半导体还不具备形成半导体器件的能力。下面介绍半导体二极管、三极管和场效应管等的PN结的形成和特性。

1. PN 结的形成

扩散形成薄电荷区，即PN结

利用特殊的掺杂工艺，在一块单晶硅（或锗）片的一边形成P型半导体，另一边形成N型半导体。在P型和N型半导体结合之初，由于P区的空穴浓度大，N区的电子浓度大，因此在两者的结合面处发生空穴与电子的扩散，如图1.5(a)所示。扩散过程中，一方面，P区中的空穴越过交界面与N区中的电子复合；另一方面，N区中的电子会越过交界面与P区中的空穴复合。这样，就在N区靠近交界面处带正电荷，在P区靠近交界面处带负电荷，于是在交界面的两侧形成了一个很薄的空间电荷区，这一薄层命名为PN结，如图1.5(b)所示。

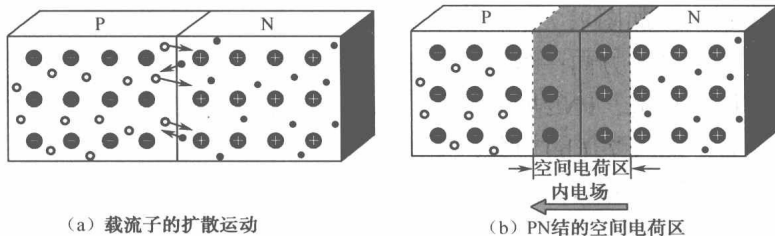


图 1.5 半导体 PN 结的形成

耗尽区两侧形成内电场

在空间电荷区内，由于多数载流子（在P区为空穴，在N区则为电子）扩散到对边并被复合，不再存在载流子，