

王彦◎主编
路文娟 魏颖◎副主编

模拟电子技术

MONI DIANZI JISHU

武汉工业学院图书馆



01125515



西南交通大学出版社
SWJUP [Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

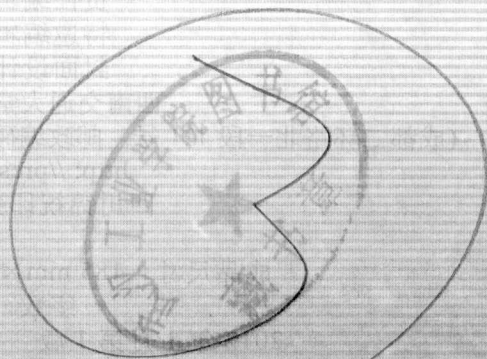
TN710

22

模拟电子技术

王彦◎主编

路文娟 魏颖◎副主编



西南交通大学出版社
· 成都 ·

内容简介

本书内容充分考虑了高职人才培养目标和高职学生目前的知识层次与接受能力的实际情况,汲取了近年来各高职高专院校在教学过程中以及在探索培养高素质技术应用型人才方面取得的成功经验,突出应用性、针对性,淡化理论推导,注重结论与实践,以能力的培养为主,强调技术的实用性,强化电子电路的分析方法的介绍,更好地体现模拟电子技术课程专业技术基础的地位。本书共分为8章,内容包括:半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大电路、正弦波振荡电路、低频功率放大电路、直流稳压电源等。为便于教学和自学,每章后面均有小结和习题。

本书可以作为高职高专电子信息工程技术、电气自动化技术、通信技术、机电一体化、汽车电子等专业的专业技术基础课教材,也可作为职工大学、业余大学等的同类专业基础课教材,还可供从事电子技术的工程技术人员参考和学习。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 王彦主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2012.1

ISBN 978-7-5643-1545-0

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—电子技术—
高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第269524号

模拟电子技术

主编 王彦

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 宋彦博

封面设计 原谋书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川锦祝印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 15.25

字数: 378千字

2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-1545-0

定价: 26.80元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是在贯彻《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)文件精神的教育改革中,积累了多年的教学改革与实践的经验,根据高职高专“模拟电子技术”基础课程教学的基本要求而编写的。本书可以作为高职高专电子信息、电气自动化技术、通信技术、机电一体化、汽车电子等的专业技术基础课,也可供从事电子技术的工程技术人员自学与参考。

“模拟电子技术”是电类专业的技术基础课程,内容包括:半导体的基础知识、半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大电路、正弦波振荡电路、低频功率放大电路、稳压电源等。通过本课程的学习,学生能掌握模拟电子技术的基本理论、基本分析方法、基本测量技能,提高分析问题、解决问题的能力,拓宽知识面,为今后的学习、创新和科学研究工作打下扎实的理论基础和实践基础。

为了适应高职高专培养目标及现代化技术发展需要,本书以现代电子技术的基本知识与基本理论为主线,重视模拟电子技术的应用,克服了以往学生学完本课程后不知其用处的缺陷,而理论分析主要体现应用的目的,删繁就简,遵循“够用”与“实用”的基本原则,增强教学的实践性。在教材内容的安排上,以满足岗位需求和培养学生独立分析、解决问题的能力为目的。每章都有小结,并配有习题,以方便学生练习,并培养学生独立自学、开阔视野的能力。

本书由武汉铁路职业技术学院王彦任主编,路文娟、魏颖任副主编。王贇参与了第5章主要内容的编写,余海潮、朱琳等老师为本书的课件、插图、习题解答做了大量的工作,在此一并表示感谢。

在本书的编写过程中,武汉铁路职业技术学院电子电气工程系的任课老师给予了大量支持,并对大纲进行了审定;在教材的修订过程中,陈晓明副教授提出了许多宝贵意见,并对书稿进行了认真的校对,在此一并表示衷心的感谢!

本书配有便于教学的电子教案,并配有多套模拟试题,以及习题参考答案。由于篇幅有限,书中没有列出这些内容。读者若需要,可发邮件至电子邮箱 28526306@qq.com 索取。

由于编者水平有限,加之电子技术日新月异,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正,以便今后改进。

编 者

2011年7月

常用符号说明

1. 分立元器件

(1) 元器件名称及在电路中的符号

T	三极管、场效应管
D	普通二极管
D _z	稳压二极管
LED	发光二极管
A	运算放大器
K	开关
R _p	电位器、集成运放同相端平衡电阻
R	电阻器
C	电容器
L	电感器

(2) 元器件的管脚名称及在电路中的符号

b (B)	三极管基极
c (C)	三极管集电极
e (E)	三极管发射极
g (G)	场效应管栅极
d (D)	场效应管漏极
s (S)	场效应管源极

2. 电压与电流

(1) 工作电源电压

① 符号规定:

大写的字母, 大写下标 (英文字母), 并双写该下标字母。

② 符号使用:

U_{BB}	晶体三极管基极直流电源电压
U_{CC}	晶体三极管集电极直流电源电压
V_{CC}	晶体三极管集电极直流电源电位
V_{EE}	晶体三极管发射极直流电源电位
U_{GG}	场效应管漏极直流工作电压

U_{DD} 场效应管漏极直流工作电压

(2) 电压与电流

① 符号规定:

英文小写字母符号, 小写字母下标, 表示交流电压、电流瞬时值;

英文小写字母符号, 大写字母下标, 表示交直流叠加的电压、电流瞬时值;

英文大写字母符号, 小写字母下标, 表示交流电压、电流有效值;

英文大写字母符号, 大写字母下标, 表示直流电压、电流值。

② 符号使用:

电压用字母 U (或 u) 表示, 电位用字母 V (或 v) 表示。

U_{BE}	三极管基极与发射极间的直流工作电压
U_{CE}	三极管集电极与发射极间的直流工作电压
V_B 、 V_C 、 V_E	三极管基极、集电极、发射极的直流电位
$U_{(BR) CEO}$	基极开路时三极管集电极与发射极间的反向击穿电压
$U_{(BR) EBO}$	集电极开路时三极管发射极与基极间的反向击穿电压
$U_{(BR) CBO}$	发射极开路时三极管集电极与基极间的反向击穿电压
U_{CES}	三极管集电极与发射极间的饱和电压
u_{BE}	三极管基极与发射极间含直流的瞬时电压
u_{CE}	三极管集电极与发射极间含直流的瞬时电压
v_i	交流输入电位
u_i	交流输入电压
v_s	信号源电位
i_B 、 i_C 、 i_E	三极管基极、集电极、发射极的交直流叠加电流瞬时值
i_b 、 i_c 、 i_e	三极管基极、集电极、发射极的交流电流瞬时值
I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ}	三极管基极、集电极、发射极的静态工作电流
I_{CBO}	三极管发射极开路时的集电极与基极间的反向饱和电流
I_{CEO}	三极管基极开路时的集电极与发射极间的反向饱和电流
I_{CM}	三极管集电极最大允许电流
U_Z 、 I_Z	稳压管的稳定电压、稳定电流
I_{FM}	二极管最大整流电流
I_R	二极管的反向电流
U_{RM}	最大反向工作电压
U_P	场效应管的夹断电压
U_T	场效应管的开启电压
U_{GS}	场效应管的栅源直流电压
U_{DS}	场效应管的漏源直流电压
u_{GS}	场效应管的栅源含直流的瞬时电压
u_{DS}	场效应管的漏源含直流的瞬时电压

u_{id}	差模输入电压
u_{ic}	共模输入电压
u_{od}	差模输出电压
u_{oc}	共模输出电压
u_{+} 、 i_{+}	同相端的输入电压、输入电流
u_{-} 、 i_{-}	反相端的输入电压、输入电流
U_{REF}	电压比较器的参考电压
I_{REF}	电流源提供的标准电流
u_f	反馈电压

3. 功率

P_{CM}	三极管集电极最大耗散功率
P_C	三极管集电极耗散功率
P_o	放大电路输出功率
P_E	直流电源提供的功率
P_{omax}	放大电路最大输出功率

4. 电阻

R_b	基极偏置电阻
R_c	集电极电阻
R_e	发射极电阻
R_L	负载电阻
R_s	信号源内阻
r_{be}	三极管基极-发射极间的等效输入电阻
r_o	输出等效电阻
r_i	输入等效电阻
r_{id}	差模输入等效电阻
r_{od}	差模输出等效电阻
r_{ic}	共模输入等效电阻
r_{oc}	共模输出等效电阻
R_g	场效应管的栅极电阻
R_d	场效应管的漏极电阻
r_d	场效应管的输出等效电阻

5. 频率参数

f_0	谐振频率
f_s	石英晶体的串联谐振频率
f_p	石英晶体的并联谐振频率
ω_0	谐振角频率

f_M	二极管的最高工作频率
f_H	上限截止频率
f_L	下限截止频率
BW	通频带

6. 性能参数、技术指标

$\bar{\beta}$	三极管共射极直流电流放大系数
β	三极管共射极交流电流放大系数
$\bar{\alpha}$	三极管共基极直流电流放大系数
α	三极管共基极交流电流放大系数
A_u	交流电压放大倍数
A_i	交流电流放大倍数
A_{us}	源电压放大倍数
g_m	场效应管低频互导 (跨导)
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
K_{CMR}	共模抑制比
φ_A	基本放大电路的相移
φ_F	反馈网络的相移
F	反馈系数
A	开环放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
A_{if}	闭环电流放大倍数
$\dot{F}$	反馈系数的相量形式
$\dot{A}$	开环放大倍数的相量形式
η	效率
S_r	稳压系数
S_T	温度系数
δ_U	纹波系数
I_{os}	整定电流

目 录

1 半导体二极管及其应用电路	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的导电特性	1
1.1.2 PN 结	4
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 二极管的结构及其在电路中的符号	6
1.2.2 二极管的伏安特性曲线	8
1.2.3 二极管的主要参数	10
1.2.4 二极管的命名与分类	12
1.2.5 二极管的判别	13
1.3 特殊二极管	13
1.3.1 稳压二极管	13
1.3.2 光电二极管和光电池	15
1.3.3 发光二极管和光电耦合器	17
1.4 半导体二极管的应用	18
1.4.1 整流电路	18
1.4.2 检波电路	18
1.4.3 限幅电路	19
1.4.4 钳位电路	20
本章小结	20
习 题	21
2 半导体三极管及其放大电路	24
2.1 半导体三极管	24
2.1.1 三极管的结构及分类	24
2.1.2 三极管的工作条件和基本组态	25
2.1.3 三极管的电流分配关系和电流放大作用	26
2.1.4 三极管的伏安特性曲线	29
2.1.5 三极管的主要参数	31
2.1.6 三极管的命名与检测	33
2.1.7 特殊三极管简介	34
2.2 放大电路的基本工作原理	36
2.2.1 放大电路的作用和分类	36

2.2.2 放大电路的主要性能指标	37
2.2.3 放大电路的组成原理	39
2.2.4 直流通路和交流通路	40
2.3 放大电路的图解分析法	41
2.3.1 静态分析	41
2.3.2 动态分析	44
2.3.3 波形失真与工作点的关系	46
2.3.4 静态工作点的稳定及偏置电路	48
2.4 放大电路的微变等效分析法	52
2.4.1 三极管的微变等效电路	52
2.4.2 共发射极放大电路的性能指标分析	54
2.4.3 共基极、共集电极放大电路的性能指标分析	56
2.4.4 三种组态基本放大电路的应用场合	60
2.5 多级放大电路	61
2.5.1 多级放大电路的组成	61
2.5.2 多级放大电路的级间耦合方式	61
2.5.3 多级放大电路性能指标的估算	64
本章小结	67
习 题	69
3 场效应管及其放大电路	74
3.1 绝缘栅型场效应管	74
3.1.1 N 沟道增强型 MOS 管	75
3.1.2 N 沟道耗尽型 MOS 管	77
3.2 结型场效应管	79
3.2.1 结型场效应管的结构和符号	79
3.2.2 结型场效应管的工作原理	80
3.2.3 结型场效应管的伏安特性曲线	82
3.3 场效应管的比较	83
3.3.1 各类场效应管的特性比较	83
3.3.2 场效应管与晶体三极管的比较	84
3.4 场效应管的主要参数及使用注意事项	85
3.4.1 场效应管的主要参数	85
3.4.2 场效应管的检测及使用注意事项	86
3.5 场效应管放大电路	87
3.5.1 场效应管的直流偏置电路及静态工作点	87
3.5.2 场效应管的微变等效电路分析	89
本章小结	93
习 题	94

4 负反馈放大电路	98
4.1 反馈的基本概念	98
4.1.1 反馈的定义	98
4.1.2 负反馈方框图及基本关系式	98
4.1.3 负反馈放大电路的 4 种基本组态	99
4.2 反馈类型及反馈极性的判别	101
4.2.1 反馈类型的判别	101
4.2.2 反馈极性的判断	103
4.2.3 举例分析	103
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	105
4.3.1 提高放大倍数的稳定性	105
4.3.2 减小非线性失真和抑制噪声及干扰	106
4.3.3 扩展通频带	106
4.3.4 负反馈对输入电阻的影响	107
4.3.5 负反馈对输出电阻的影响	108
4.4 深度负反馈放大电路的估算	109
4.4.1 深度负反馈的特点	109
4.4.2 深度负反馈放大倍数的估算	110
本章小结	112
习 题	113
5 集成运算放大电路	116
5.1 概 述	116
5.1.1 集成电路及其制造工艺	116
5.1.2 集成电路的分类	117
5.1.3 模拟集成电路特征	117
5.2 差分放大电路	118
5.2.1 直接耦合放大电路的零点漂移问题	118
5.2.2 典型差分放大电路	119
5.2.3 具有恒流源的差分放大电路	123
5.2.4 差分放大电路的 4 种连接方式	124
5.3 集成运算放大电路的组成与理想特性	124
5.3.1 集成运算放大电路的组成与工作原理	124
5.3.2 集成运算放大器的外形和符号	127
5.3.3 集成运算放大器的主要参数	128
5.3.4 集成运算放大器的理想特性	130
5.4 集成运算放大器的基本运算电路	131
5.4.1 比例运算电路	131
5.4.2 加法与减法运算	133

5.4.3	积分与微分运算电路	135
5.4.4	集成运算放大器的应用举例	137
5.5	集成运算放大电路的非线性应用	140
5.5.1	电压比较器	140
5.5.2	方波发生器	143
5.6	集成运算放大器使用注意事项	145
5.6.1	调零	145
5.6.2	消除自激振荡	146
5.6.3	保护电路	146
	本章小结	147
	习 题	148
6	正弦波振荡电路	155
6.1	自激振荡的基本原理	155
6.1.1	自激式正弦波振荡电路的组成	155
6.1.2	自激式正弦波振荡的产生及稳定条件	155
6.2	LC 振荡电路	157
6.2.1	互感耦合式振荡电路	157
6.2.2	电感三点式振荡电路	158
6.2.3	电容三点式振荡电路	159
6.3.4	应用举例	162
6.3	石英晶体谐振器及振荡电路	163
6.3.1	石英晶体谐振器	163
6.3.2	石英晶体振荡电路	165
6.4	RC 正弦波振荡电路	166
6.4.1	RC 串并网络的选频特性	166
6.4.2	RC 桥式正弦波振荡电路	168
	本章小结	170
	习 题	170
7	低频功率放大电路	175
7.1	低频功率放大电路概述	175
7.1.1	功率放大电路的特点	175
7.1.2	功率放大器的基本要求	175
7.1.3	功率放大电路的分类	177
7.2	互补对称功率放大电路	177
7.2.1	乙类互补对称 OCL 功率放大电路	178
7.2.2	甲乙类互补对称 OCL 功率放大电路	182
7.2.3	甲乙类互补对称 OTL 功率放大电路	185
7.3	集成功率放大电路	189

7.3.1 内部电路简介	189
7.3.2 集成功放的应用电路	191
7.4 功率管的安全使用与保护	193
7.4.1 功率管的二次击穿问题	193
7.4.2 功率管的散热问题	194
7.4.3 功率管的保护措施	194
本章小结	195
习 题	196
8 直流稳压电源	200
8.1 概 述	200
8.2 整流电路	200
8.2.1 单相半波整流电路	201
8.2.2 单相全波整流电路	202
8.2.3 单相桥式整流电路	204
8.3 滤波电路	206
8.3.1 电容滤波电路	207
8.3.2 电感滤波电路	210
8.3.3 各种滤波电路性能比较	211
8.4 串联型直流稳压电路	211
8.4.1 稳压电源的技术指标	211
8.4.2 电路原理框图及工作原理	212
8.4.3 串联型直流稳压电路	214
8.5 集成稳压器	216
8.5.1 三端固定式输出集成稳压器	217
8.5.2 三端输出可调式集成稳压器	219
8.6 开关型稳压电源	221
8.6.1 电路组成与工作原理	221
8.6.2 串联型开关稳压电路	222
8.6.3 并联型开关稳压电路	223
本章小结	224
习 题	224
附录一 常用半导体器件的命名与检测	226
附录二 部分国产整流二极管型号及主要性能参数	228
参考文献	229



半导体二极管及其应用电路

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 半导体的导电特性

1.1.1.1 半导体的特点

自然界中的各种物质按其导电性能的不同可分为：导体、半导体和绝缘体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，它具有独特的热敏性、光敏性和掺杂性。

热敏特性：半导体的电阻率随着温度的变化会发生明显改变。例如，对于半导体锗，温度每升高 10°C ，其电阻率将减小为原来的一半。利用半导体的热敏特性，可以制作热敏电阻，用于控制系统以及温度测量等。需要指出的是，因为半导体器件存在温度敏感性问题，所以环境温度的变化将引起由半导体器件组成的电子线路性能的变化。

光敏特性：半导体的电阻率对光照十分敏感。例如，常用的硫化镉光敏电阻，无光照射时，电阻值高达几十兆欧；受到光照射时，电阻值降至几十千欧。利用半导体的光敏性，可以制造出多种类型的光电器件，它们广泛应用于自动控制和电子设备中。

掺杂特性：在纯净的半导体中，人为地掺入微量的杂质元素，就会使它的导电能力产生极大的变化。例如，在纯净半导体中掺入百万分之一的杂质，其导电能力可以提高近 100 万倍。所有半导体器件都是由掺有特定杂质的半导体材料制成的。

自然界中的半导体材料有：元素半导体，如硅 (Si)、锗 (Ge) 等；化合物半导体，如砷化镓 (GaAs) 等；掺杂材料，如硼 (B)、磷 (P) 等。其中硅和锗是目前用得最多的半导体材料，由于硅和锗都是以晶体结构存在于自然界中，因此半导体二极管、三极管常被称作晶体二极管和晶体三极管。

由化学元素周期表可知，硅和锗都是四价元素，即它们的原子最外层轨道上都有 4 个电子（称为价电子）。它们的简化原子结构模型如图 1.1 (a) 所示，由于原子呈中性，所以原子核用标有“+4”的圆圈表示，外围价电子用 $\bullet$ 表示。在晶体中，由于相邻原子的距离很近，价电子不仅受到自身原子核的约束，还受到相邻原子核的吸引，使得每个价电子为相邻原子

所共有，从而形成共价键，这样 4 个价电子与相邻的 4 个原子中的价电子分别组成 4 对共价键。图 1.1 (b) 所示是硅（或锗）共价键结构的平面示意图。

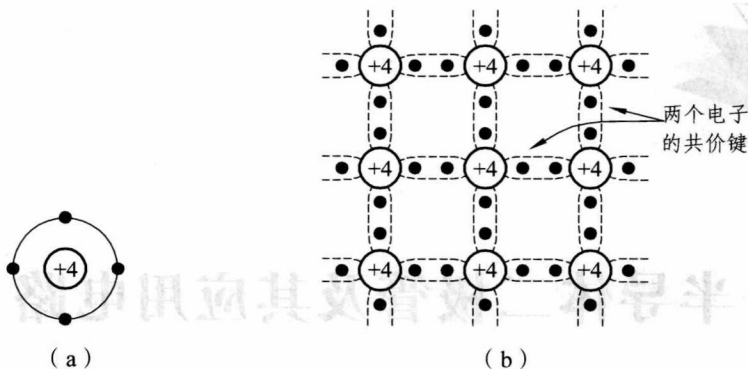


图 1.1 硅、锗的原子结构模型及共价键结构平面示意图

共价键中的价电子，由于受到原子核的束缚，不能在晶体中自由移动，因而也称为束缚电子，它不能参与导电。

1.1.1.2 本征半导体

半导体按其是否掺有杂质来划分，又可分为本征半导体和杂质半导体。

本征半导体是一种完全纯净、结构完整的半导体晶体。在绝对零度 (-273.15°C) 和没有外界激发时，每一个原子的外围电子被共价键所束缚，不能自由移动。这样，本征半导体中虽然有大量的价电子，但没有自由电子，此时半导体是不能导电的。当温度升高或受光照射时，共价键中的价电子会获得足够能量，从共价键中挣脱出来，变成自由电子；同时，在原共价键的相应位置上留下一个空位，这个空位称为“空穴”，如图 1.2 所示。显然，电子和空穴是成对出现的，所以称为电子-空穴对。在本征半导体中，电子和空穴的数目总是相等的，我们把在热或光的作用下，本征半导体中的价电子挣脱共价键的束缚产生电子-空穴对的现象，称为本征激发。

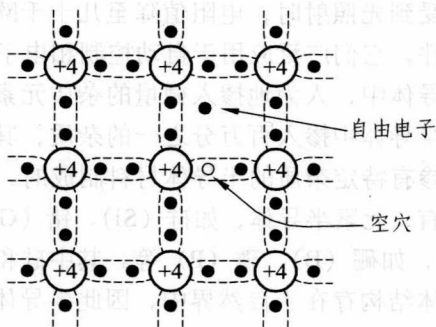


图 1.2 本征激发产生电子-空穴对

由图 1.1 (b) 可见，一个完整的共价键的价电子数等于原子核的正电荷数，所以原子中正负电荷数目相等，半导体呈电中性。电子挣脱共价键的束缚而成为自由电子后，原子核因失去电子而带等量的异性电荷，因为自由电子带负电荷，所以空穴带等量的正电荷。

由于共价键中出现了空穴，在外电场或其他能源的作用下，邻近的价电子就可以填补到这个空穴上来，而这个价电子的原来位置上又留下新的空穴，其他价电子又可以转移到这个新的空穴上。这样，电子和空穴就产生了相对移动，它们的运动方向相反，而形成的电流方向是一致的。由此可见，本征半导体中存在两种载流子：自由电子和空穴。而导体中只有一种载流子——自由电子，这是半导体与导体的一个本质区别。

1.1.1.3 杂质半导体

从前面的分析可见，在本征半导体内，自由电子和空穴总是成对出现的，即自由电子的数目总是和空穴的数目相等。

在本征半导体（纯净的硅或锗）中掺入微量的杂质，会使半导体的导电性能发生显著的变化。因掺入的杂质性质不同，杂质半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体。

(1) P 型半导体

在纯净的半导体材料硅（或锗）中掺入微量的三价元素（如硼），则可构成 P 型半导体。硼原子只有 3 个价电子，它取代硅（或锗）原子，而与相邻的 4 个硅（或锗）原子形成共价键时，会因缺少一个价电子而出现空穴。这样，在掺入微量三价元素后的本征半导体中，其载流子除了本征激发产生的电子-空穴对外，还有因掺杂而出现的空穴，如图 1.3 所示，这种半导体就称为 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴的数目远大于自由电子的数目，空穴为多数载流子，简称“多子”；而电子为少数载流子，简称“少子”。由于 P 型半导体主要靠空穴导电，因而又称为空穴型半导体。

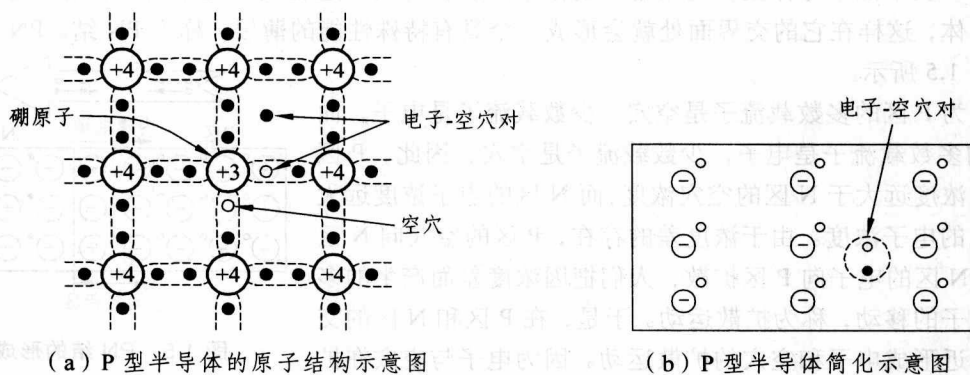


图 1.3 P 型半导体的结构

(2) N 型半导体

在纯净的半导体材料硅（或锗）中掺入微量的五价元素（如磷），则可构成 N 型半导体。磷原子有 5 个价电子，它取代硅（或锗）原子，而与相邻的 4 个硅（或锗）原子组成 4 个共价键时，会多出一个价电子，这个电子便成为自由电子。这使得 N 型半导体中的载流子——电子和空穴——的数目不再相等，自由电子的数目远大于空穴的数目，如图 1.4 所示，这就是 N 型半导体。在 N 型半导体中，电子为多数载流子，空穴为少数载流子，因此，N 型半导体又称为电子型半导体。

从上面的分析还可以了解到，杂质半导体中的多数载流子的浓度与掺杂浓度有关；而少

数载流子是因本征激发产生的, 因而其浓度与掺杂无关, 只与温度等激发因素有关。

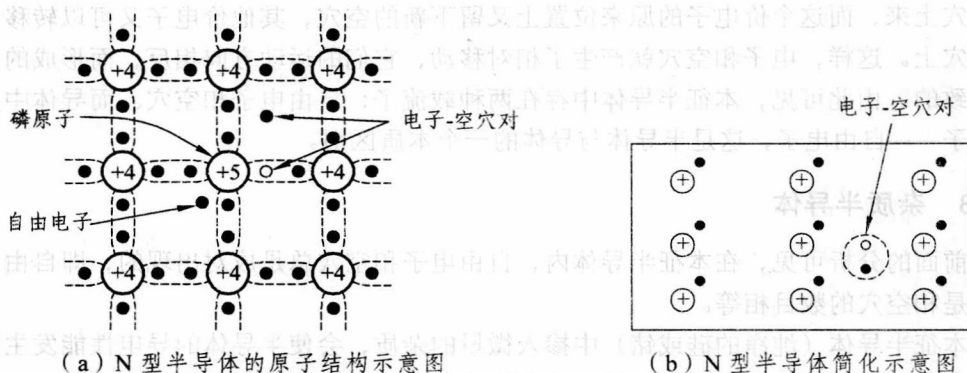


图 1.4 N 型半导体的结构

1.1.2 PN 结

掺杂增强了半导体的导电能力。但是, 单一的 N 型或 P 型半导体只能起到电阻的作用, 如果将这两种半导体以某种方式结合在一起构成 PN 结, 就可以使半导体的导电性能受到控制, 从而制成各种具有不同特性的半导体器件。

1.1.2.1 PN 结的形成

在一块本征半导体上, 利用特殊的掺杂工艺, 将其一边制成 P 型半导体, 另一边制成 N 型半导体, 这样在它的交界面处就会形成一个具有特殊性能的薄层, 称为 PN 结。PN 结的形成如图 1.5 所示。

因为 P 区的多数载流子是空穴, 少数载流子是电子, 而 N 区的多数载流子是电子, 少数载流子是空穴, 因此, P 区的空穴浓度远大于 N 区的空穴浓度, 而 N 区的电子浓度远大于 P 区的电子浓度。由于浓度差的存在, P 区的空穴向 N 区扩散, N 区的电子向 P 区扩散, 人们把因浓度差而产生的多数载流子的移动, 称为扩散运动。于是, 在 P 区和 N 区的交界面附近形成电子和空穴的扩散运动。因为电子与空穴在扩散过程中会产生复合, 因此, 在交界面靠近 P 区一侧留下了负离子, 靠近 N 区一侧留下了等量的正离子。P 区和 N 区交界面两侧形成的正、负离子薄层, 称为空间电荷区。

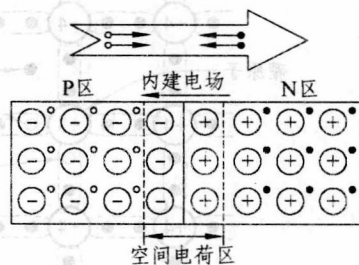


图 1.5 PN 结的形成

空间电荷区的出现, 建立了 PN 结的内电场。内电场的方向由 N 区指向 P 区, 它阻碍了多数载流子的扩散运动, 却对两边的少数载流子 (即 P 区的电子、N 区的空穴) 向对方的漂移起到了推动作用。在电场的作用下而产生的少数载流子的移动, 称为漂移运动。因此, 在 PN 结中, 同时存在两种载流子的运动, 即扩散运动与漂移运动。

在扩散运动开始时, 由于空间电荷区刚刚形成, 内建电场还很弱, 扩散运动很强, 而漂移运动较弱。随着扩散运动的不断进行, 空间电荷区逐渐变宽, 内建电场不断加强, 于是少数载流子的漂移运动随之增强, 而扩散运动相对减弱。最后, 因浓度差产生的多数载流子的扩散与电场作用产生的少数载流子的漂移相抵消, 即扩散运动与漂移达到动态平衡, 空间电