

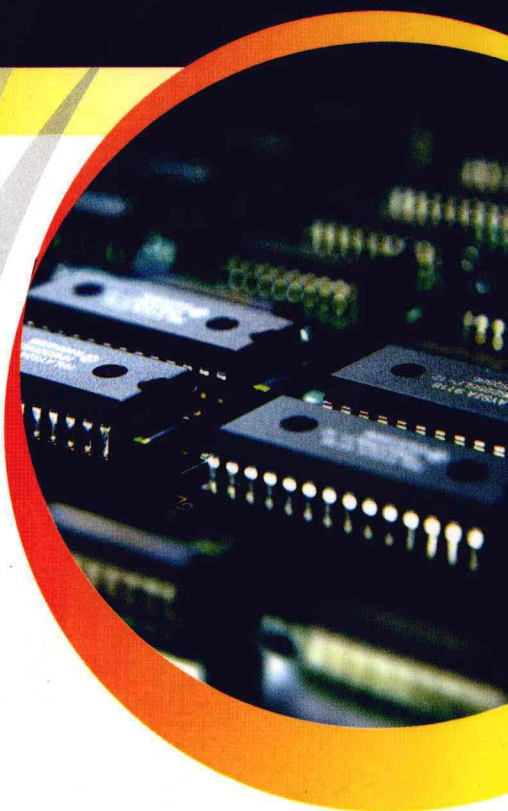
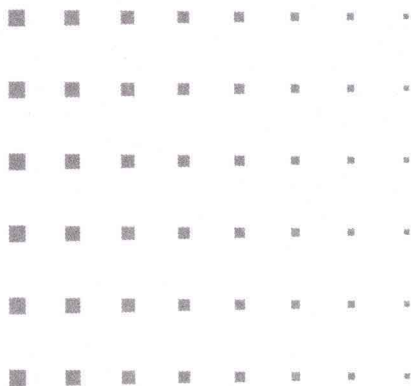


高等学校信息工程类专业规划教材

模拟电子技术

主 编 王守华

副主编 董 敏 李文峰



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

模拟电子技术

主 编 王守华

副主编 董 敏 李文峰

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

模拟电子技术是一门重要的基础性技术课程。本书详细地介绍了模拟电子技术的基本原理和分析方法,为读者深入学习相关知识奠定了理论基础。本书的主要特点是:精选常规内容,力求简明扼要,通俗易懂。

本书共9章,具体内容包括半导体二极管、基本放大电路、多级放大电路和集成运算放大器、放大电路的频率响应、功率放大电路、反馈、集成运算放大器的应用、波形发生电路和直流电源。为了便于读者练习和自学,各章均有小结及习题。

本书适用于高等院校电子信息、电气类专业本科生及大专生使用,也可供从事电子技术工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/王守华主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2011.8

21世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-2600-0

I. ① 模… II. ① 王… III. ① 模拟电路—电子技术—高等学校—教材

IV. ① TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100465 号

策 划 戚文艳

责任编辑 戚文艳 宁晓蓉

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 //www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.5

字 数 402千字

印 数 1~3000册

定 价 30.00元

ISBN 978-7-5606-2600-0/TN·0608

XDUP 2892001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

随着现代科学技术的迅速发展,模拟电子技术这门重要的专业技术基础课日益体现出其应用和推广的价值,它是一门综合性、实践性很强的课程,也是电子信息类专业学生认识电子技术、获取电子技术知识以及进行后续专业课程学习的承上启下的关键课程。

本书内容包括半导体二极管、基本放大电路、多级放大电路和集成运算放大器、放大电路的频率响应、功率放大电路、反馈、集成运算放大器的应用、波形发生电路和直流电源。考虑到实际教学和自学的需要,每章内容结束后都附有小结,以帮助学生进行系统的归纳总结及扩展延伸。书中还给出了大量的例题和习题,便于学生练习和自学。就整体而言,全书力求突出基本的概念和原理,由浅入深,通俗易懂,达到适当的深度和广度即可。

为了便于读者自学,我们还编写了《模拟电子技术学习指导与习题解答》,对本书中的每一章节进行综述,指出要求掌握的重点内容;对基本概念释疑解难,对要求掌握的基本电路及基本计算方法进行典型例题分析解答,并对课后习题进行解答;在每章最后还附有一定量的自我检测题。

本书可与董敏主编的《数字电子技术》配套使用,也可以作为模拟电子技术的教材单独使用。本书的参考课时为60~80课时。若在课时较少情况下采用此书,教师可根据专业特点和学时数进行取舍。

本书由王守华担任主编,负责全书的组织、统稿和改稿。参加本书编写工作的有:王守华(第2、6、7章)、董敏(第9章)、李文峰(第1章)、陈伟(第3、4、8章)、李旭虹(第5章)。

参加和支持本书编写的同志还有程红丽、杨建翔、薛颖轶、顾洁、杨俊三、杨波、耿伟霞、罗小莹、韩建设、张博霞等,他们在本书编写过程中提出了宝贵意见和建议,在此表示感谢。

关心和支持本书编写、出版的同志还有很多,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,加之时间比较仓促,书中的不足之处在所难免,恳请使用本书的读者和同行老师不吝指正。

编 者
2011年1月

符号说明

一、基本符号

q	电荷	L	电感
Φ, ϕ	磁通	C	电容
I, i	电流	M	互感
U, u	电压	Z	阻抗
P, p	功率	X	电抗
W, w	能量	Y	导纳
R, r	电阻	B	电纳
G, g	电导	A	放大倍数

二、电压、电流

英文小写字母 $u(i)$ ，其下标若为英文小写字母，则表示交流电压(电流)瞬时值(例如， u_o 表示输出交流电压瞬时值)。

英文小写字母 $u(i)$ ，其下标若为英文大写字母，则表示含有直流的电压(电流)瞬时值(例如， u_O 表示含有直流的输出电压瞬时值)。

英文大写字母 $U(I)$ ，其下标若为英文小写字母，则表示正弦电压(电流)有效值(例如， U_o 表示输出正弦电压有效值)。

英文大写字母 $U(I)$ ，其下标若为英文大写字母，则表示直流电压(电流)(例如， U_O 表示输出直流电压)。

$\dot{U}, \dot{I}$	正弦电压、电流相量(复数量)
U_m, I_m	正弦电压、电流幅值
U_Q, I_Q	电压、电流的静态值
U_f, I_f	反馈电压、电流有效值
U_{CC}, U_{EE}	集电极、发射极直流电源电压
U_{BB}	基极直流电源电压
U_{DD}, U_{SS}	漏极和源极直流电源电压
U_s, I_s	直流电压源、电流源
u_s, i_s	正弦电压源、电流源
U_i	输入交流电压有效值
u_i	含有直流成分输入电压瞬时值
u_i, u_o	输入、输出电压瞬时值
U_o, I_o	输出交流电压、电流有效值
u_O	含有直流成分输出电压的瞬时值
U_{RM}	基准电压、参考电压、二极管最大反向工作电压

I_R	参考电流、二极管反向电流
$u_+、i_+$	运放同相端输入电压、电流
$u_-、i_-$	运放反相端输入电压、电流
U_{id}	差模输入电压信号
U_{ic}	共模输入电压信号
U_{oim}	整流或滤波电路输出电压中基波分量的幅值
U_{CEQ}	集电极、发射极间静态压降
U_{OH}	运放输出电压的最高电压
U_{OL}	运放输出电压的最低电压
I_{BQ}	基极静态电流
I_{CQ}	集电极静态电流
ΔU_{CE}	直流变化量
Δi_c	瞬时值变化量

三、电阻

R_s	信号源内阻
r_i	输入电阻
r_o	输出电阻
r_{if}	具有反馈时的输入电阻
r_{of}	具有反馈时的输出电阻
r_{id}	差模输入电阻
$R_i(R')$	运放输入端的平衡电阻
R_p	电位器(可变电阻器)
R_c	集电极外接电阻
R_b	基极偏置电阻
R_e	发射极外接电阻
R_L	负载电阻

四、放大倍数、反馈系数

A_u	电压放大倍数 $A_u = U_o/U_i$
A_{us}	考虑信号源内阻时电压放大倍数 $A_{us} = U_o/U_s$ ，即源电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_{od}	开环差模电压放大倍数
A_{usm}	中频电压放大倍数
A_{usl}	低频电压放大倍数
A_{ush}	高频电压放大倍数
A_f	闭环放大倍数
A_{uf}	具有负反馈的电压放大倍数，即闭环电压放大倍数
A_i	开环电流放大倍数
A_{if}	闭环电流放大倍数

A_r	开环互阻放大倍数
A_{rf}	闭环互阻放大倍数
A_g	开环互导放大倍数
A_{gf}	闭环互导放大倍数
F	反馈系数
A_p	功率放大倍数

五、功率

p	瞬时功率
P	平均功率(有功功率)
Q	无功功率
$\tilde{S}$	复功率
S	视在功率
λ	功率因数
P_o	输出信号功率
P_c	集电极损耗功率
P_E 、 P_s	直流电源供给功率

六、频率

f	频率
ω	角频率
f_h	放大电路的上限截止频率。此时放大电路的放大倍数为 $A_{ush}=0.707A_{usm}$
f_l	放大电路的下限截止频率。此时, $A_{usl}=0.707A_{usm}$
f_{bw}	通频带(带宽) $f_{bw}=f_h-f_l$
f_{hf}	具有负反馈时放大电路的上限截止频率
f_{lf}	具有负反馈时放大电路的下限截止频率
f_{bwf}	具有负反馈时的通频带
f_a	共基极接法时三极管电流放大系数的上限截止频率
f_β	共射极接法时三极管电流放大系数的上限截止频率
f_T	三极管的特征频率
ω_0	谐振角频率、振荡角频率
f_0	振荡频率

七、器件参数

V_D	二极管
V	三极管
V_{Dz}	稳压二极管
U_T	温度电压当量 $U_T=kT/q$ 、增强型场效应管的开启电压
I_D	二极管电流, 漏极电流
I_S	反向饱和电流, 源极电流
I_F	最大整流电流
U_{on}	二极管开启电压

U_{BR}	PN 结击穿电压
U_z	稳压管稳定电压值
I_z	稳压管工作电流
$I_{z\max}$	最大稳定电流
r_z	稳压管的微变电阻
b, B	基极
c, C	集电极
e, E	发射极
I_{CBO}	发射极开路、集—基极间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路、集—射极间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
P	空穴型半导体
N	电子型半导体
n	电子浓度
p	空穴浓度
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结的微变等效电阻
r_{be}	共射接法下，基—射极间的微变电阻
r_{ce}	共射接法下，集—射极间的微变电阻
α	共基接法下，集电极电流的变化量与发射极电流的变化量之比，即 $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
$\bar{\alpha}$	从发射极到达集电极的载流子的百分数，或 $\bar{\alpha} = I_C / I_E$
β	共射接法下，集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比，即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$
$\bar{\beta}$	共射接法下，不考虑穿透电流时 I_C 与 I_B 的比值
g_m	跨导
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时 e—b 间的击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时 c—e 间的击穿电压
U_{IO} 、 I_{IO}	集成运放输入失调电压、失调电流
I_{IB}	集成运放输入偏置电流
S_R	集成运放的转换速率
D	场效应管漏极
G	场效应管栅极
S	场效应管源极
S	整流电路的脉动系数
$U_{GS(off)}$	场效应管夹断电压
R_{DS}	场效应管漏源间的等效电阻
I_{DSS}	结型、耗尽型场效应管 $U_{GS}=0$ 时的 I_D 值
CMRR	共模抑制比

CMR	用分贝表示的共模抑制比，即 $20 \lg \text{CMRR}$
Q	静态工作点、 LC 回路的品质因数
τ	时间常数
η	效率
$\varphi(\theta)$	相角
φ_{F}	反馈网络的相移

目 录

第 1 章 半导体二极管	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	2
1.1.3 PN 结及其特性	3
1.2 半导体二极管	5
1.2.1 半导体二极管的结构和类型	5
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	6
1.2.3 半导体二极管的参数	7
1.2.4 半导体二极管的选择及型号	8
1.2.5 半导体二极管的模型或等效电路	9
1.2.6 半导体二极管的应用及其分类	10
小结	16
习题	16
第 2 章 基本放大电路	19
2.1 双极型晶体三极管	19
2.1.1 晶体三极管的结构	19
2.1.2 三极管中的电流控制作用与放大原理	20
2.1.3 共射接法三极管的特性曲线	21
2.1.4 三极管的主要参数及安全工作区	25
2.1.5 三极管的类型、型号及选用原则	26
2.2 晶体管放大电路的组成及其工作原理	27
2.2.1 放大的概念及放大电路的组成条件	27
2.2.2 共射基本放大电路的组成及其工作原理	28
2.3 图解分析法	31
2.3.1 静态工作情况分析	31
2.3.2 动态工作情况分析	34
2.3.3 静态工作点的选择	35
2.3.4 电路参数对静态工作点的影响	36
2.4 微变等效电路分析法	37
2.4.1 晶体管的低频小信号模型及其参数	37
2.4.2 用晶体管的微变等效模型分析共射基本放大电路	38
2.4.3 两种分析方法的比较与应用	41
2.5 其他基本放大电路	41
2.5.1 分压式偏置稳定共射放大电路	41
2.5.2 晶体管共集放大电路(射极输出器)	44

2.5.3 晶体管共基放大电路	46
2.5.4 三种基本放大电路的比较及应用	47
2.6 场效应晶体管	48
2.6.1 结型场效应管	48
2.6.2 绝缘栅场效应管	50
2.6.3 场效应管的主要参数	52
2.6.4 场效应管与双极型晶体管的比较	53
2.7 场效应管放大电路	54
2.7.1 自给偏压偏置电路	54
2.7.2 分压式偏置电路	55
小结	57
习题	58
第3章 多级放大电路和集成运算放大器	65
3.1 多级放大电路的一般问题	65
3.1.1 级间耦合问题	65
3.1.2 多级放大电路的分析	66
3.2 差动放大电路	69
3.2.1 电路的组成及抑制零点漂移的原理	70
3.2.2 射极耦合差动放大电路分析	72
3.2.3 输入和输出的四种接法及其性能比较	75
3.2.4 带射极恒流源的差动放大电路	76
3.3 集成运算放大器	78
3.3.1 集成运放的组成	78
3.3.2 电流源电路	79
3.3.3 典型集成运放电路	84
3.3.4 集成运放的主要技术指标	86
3.3.5 集成运放的发展概况及分类	87
小结	88
习题	89
第4章 放大电路的频率响应	95
4.1 频率响应的基本概念和波特图	95
4.1.1 频率响应的基本概念	95
4.1.2 RC 低通电路的频率响应	97
4.1.3 RC 高通电路的频率响应	98
4.1.4 波特图	100
4.2 BJT 的高频小信号模型及频率参数	100
4.2.1 晶体管的高频小信号模型——混合参数 π 型等效电路	100
4.2.2 BJT 高频小信号模型中元件参数值的获得	102
4.2.3 晶体管共射电流放大系数 β 的频率响应	103
4.2.4 场效应管的高频小信号模型	105
4.3 基本放大电路的完整的频率响应	105
4.3.1 单管共射放大电路的频率响应	105
4.3.2 完整的单管共射放大电路的频率特性	108

4.3.3	单管共基极和共集电极放大电路的高频响应	111
4.3.4	单管共源放大电路的频率响应	113
4.3.5	频率响应的改善和增益带宽积	114
4.4	多级放大电路的频率响应	115
4.4.1	多级放大电路的频率响应表达式和波特图	115
4.4.2	多级放大电路下限截止频率 f_L 的估算	116
4.4.3	多级放大电路上限截止频率 f_H 的估算	117
	小结	119
	习题	120
第5章	功率放大电路	125
5.1	功率放大电路概述	125
5.1.1	功率放大电路的基本要求	125
5.1.2	放大电路的工作状态与效率	126
5.2	单管甲类功率放大电路	126
5.3	互补对称功率放大电路	128
5.3.1	乙类互补对称功率放大电路	129
5.3.2	甲乙类互补对称功率放大电路	130
5.3.3	单电源供电的 OTL 功率放大电路	131
5.4	集成功率放大电路	134
	小结	136
	习题	136
第6章	反馈	141
6.1	反馈的基本概念和类型	141
6.1.1	反馈的基本概念	141
6.1.2	反馈的类型及判别	142
6.2	反馈放大电路的框图表示法	144
6.2.1	负反馈放大电路的框图	145
6.2.2	框图中各个量的含义及量纲	145
6.2.3	反馈深度 $ 1+AF $	146
6.3	负反馈对放大电路性能的影响	147
6.3.1	提高闭环增益 A_f 的稳定性	147
6.3.2	展宽通频带, 减小频率失真	148
6.3.3	减小非线性失真, 抑制干扰及噪声	149
6.3.4	负反馈对放大电路输入电阻和输出电阻的影响	150
6.3.5	为改善性能而引入负反馈的一般原则	152
6.4	负反馈放大电路的分析计算	152
6.4.1	深度负反馈放大电路的本质特点	153
6.4.2	深度负反馈放大电路的近似计算	153
6.5	自激振荡及其消除	155
6.5.1	产生自激振荡的原因	155
6.5.2	产生自激振荡的条件	156
6.5.3	负反馈放大电路的稳定性分析和判断	156
6.5.4	负反馈放大电路自激振荡的消除	158

小结	159
习题	160
第 7 章 集成运算放大器的应用	169
7.1 概述	169
7.1.1 应用分类	169
7.1.2 集成运放的传输特性	169
7.2 基本运算电路	171
7.2.1 比例运算电路	171
7.2.2 加法和减法运算电路	173
7.2.3 积分和微分运算电路	177
7.2.4 对数和指数运算电路	179
7.2.5 乘法和除法运算电路	180
7.3 有源滤波电路	185
7.3.1 滤波电路的功能、分类和频率特性	185
7.3.2 有源低通滤波电路	186
7.3.3 有源高通滤波电路	190
7.3.4 有源带通滤波电路	191
7.3.5 有源带阻滤波电路	192
7.4 电压比较电路	194
7.4.1 单门限比较器	194
7.4.2 滞回比较器	197
7.4.3 双门限比较器	199
7.5 集成运放的使用	200
7.5.1 合理选用集成运放	200
7.5.2 使用集成运放的注意事项	200
小结	201
习题	202
第 8 章 波形发生电路	212
8.1 正弦波发生电路的自激条件和一般问题	212
8.1.1 产生正弦波振荡的条件	212
8.1.2 正弦波发生电路的组成部分和分析方法	213
8.2 RC 正弦波发生电路	214
8.2.1 RC 串、并联电路的选频特性	214
8.2.2 RC 桥式正弦波发生电路	216
8.3 LC 正弦波发生电路	218
8.3.1 LC 并联谐振回路的选频特性	218
8.3.2 变压器耦合式 LC 正弦波发生电路	220
8.3.3 LC 三点式正弦波发生电路	221
8.3.4 石英晶体振荡电路	223
8.4 非正弦波发生电路	225
8.4.1 矩形波发生器	226
8.4.2 三角波发生器	228
8.4.3 锯齿波发生器	229

8.4.4 函数发生器	230
小结	232
习题	233
第9章 直流电源	238
9.1 整流电路	238
9.1.1 单相半波整流电路	239
9.1.2 单相全波整流电路	240
9.1.3 单相桥式整流电路	241
9.2 滤波电路	242
9.2.1 电容滤波电路	243
9.2.2 电感滤波电路	244
9.2.3 复合滤波电路	245
9.3 倍压整流电路	246
9.3.1 二倍压整流电路	246
9.3.2 多倍压整流电路	246
9.4 稳压电路	247
9.4.1 稳压电路的性能指标	247
9.4.2 稳压管稳压电路	247
9.4.3 串联型稳压电源	249
9.4.4 开关型稳压电源	253
9.4.5 集成稳压电路及其应用	255
小结	258
习题	258
参考文献	264

第1章 半导体二极管

半导体器件是现代电子技术的重要组成部分，由于具有体积小、重量轻、寿命长等优点而得到了广泛的应用。

本章首先简要介绍半导体的基础知识，接着讨论半导体器件的核心环节——PN结的原理和特性，然后重点讨论半导体二极管的物理结构、工作原理、特性曲线和主要参数以及二极管的实用简化模型，并在此基础上具体介绍普通二极管和特殊二极管的特性和应用。

1.1 半导体的基础知识

自然界中的各种物质，按导电能力的大小可以分为导体、半导体和绝缘体三类。铜、铝等金属物质的电阻率在 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下，它们属于导体，具有较好的导电性能；橡胶、塑料等物质的电阻率在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上，它们属于绝缘体，导电性能较差；半导体的电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内。尽管半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间，但是因为它具有热敏性、光敏性和掺杂性，因此由半导体制成的各种电子器件得到了非常广泛的应用。

(1) 热敏性：半导体的导电性能随着温度发生明显的改变。利用热敏性可制作成各种热敏电阻，用于控制系统和测量温度等。

(2) 光敏性：半导体的导电性能对光照比较敏感。利用光敏性可制作成光电二极管、光电三极管及光敏电阻等多种类型的光电器件，广泛地应用于自动控制和电子设备中。

(3) 掺杂性：在纯净的半导体中掺入极少量的杂质元素，将会极大地改变半导体的导电性能。例如，在纯净的半导体中掺入百万分之一的杂质，其导电能力将提高 100 万倍。利用掺杂性可制作成各种不同用途的半导体器件，如二极管、三极管和场效应管等。

电子器件中用得最多的半导体材料是硅和锗，硅和锗都是四价元素，最外层原子轨道上具有四个价电子。由于相邻原子的距离很近，这四个价电子不仅受到自身原子核的束缚，而且受到相邻原子核的吸引，形成图 1.1.1 所示的共价键结构。

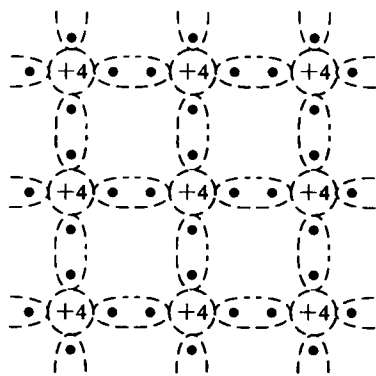


图 1.1.1 硅和锗的共价键结构

1.1.1 本征半导体

本征半导体指的是完全纯净，结构完整的半导体晶体。在绝对温度 $T = 0 \text{ K}$ (开[尔文])

和没有外界激发的前提下,本征半导体内的价电子全部被束缚在共价键中,不能自由运动,被称为束缚电子,不能参与导电。因此,本征半导体中虽然有大量的价电子,但它们都不能自由移动,此时的本征半导体不能导电。

当半导体的温度升高或者受到光线照射等外界因素的影响时,共价键中的某些价电子获得能量,挣脱共价键的束缚成为自由电子;与此同时,原共价键中的相应位置留下空位,称做“空穴”,如图 1.1.2 所示。显然,电子和空穴总是成对出现的,换句话说,本征半导体中的电子和空穴的数目总是相等的,对外呈电中性。这种在热或光的作用下,本征半导体中产生电子空穴对的现象称为本征激发。

当共价键中出现空位时,邻近共价键中的价电子可以跳过去填补这个空位,而原来价电子的位置又出现新的空位,这个过程持续下去,即发生空位的迁移,如图 1.1.3 所示。如果把空穴看成带正电的载流子,那么空穴的移动与带负电的价电子反方向移动的效果是一样的。由此可见,本征半导体中存在电子和空穴两种可以导电的载流子,电子带负电,空穴带正电,本征半导体正是依靠电子和空穴这两种载流子的移动进行导电的。

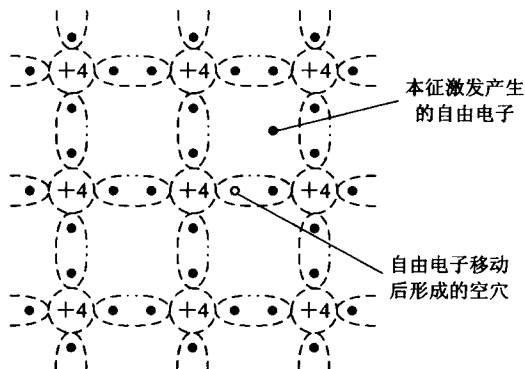


图 1.1.2 本征激发产生电子空穴对示意图

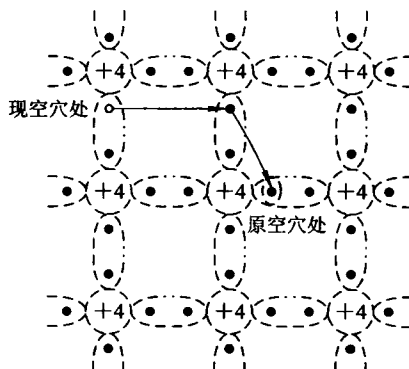


图 1.1.3 电子和空穴的移动形成电流

1.1.2 杂质半导体

实际应用中,在纯净的半导体材料中掺入少量的杂质形成杂质半导体,可以显著改变半导体的导电性能。根据掺入的杂质不同,杂质半导体又可以分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在纯净半导体中掺入微量的五价元素(如磷)后,就可形成 N 型半导体,如图 1.1.4 所示。由于五价元素最外层有五个价电子,那么与四价元素形成共价键时,就有一个价电子不能形成共价键而变成自由电子。同时考虑到常温下由于本征激发产生的少量的电子空穴对,那么在 N 型半导体中存在两种导电的载流子:自由电子和空穴。其中自由电子的浓度远大于空穴浓度,被称为多数载流子,简称为多子;空穴浓度较低,被称为少数载流子,简称为少子。N 型半导体主要依靠电子导电,因此也被称为电子型半导体。

应当注意的是,释放了一个价电子的杂质正离子被束缚在晶格中,并不能像本征激发中的空穴一样参与导电。同时,晶体中正负电荷数目相等,N 型半导体整体呈电中性。

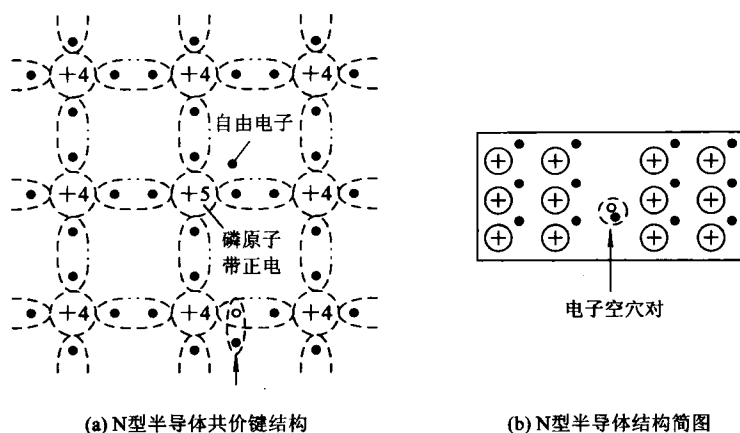


图 1.1.4 N 型半导体结构

2. P 型半导体

在纯净半导体中掺入微量的三价元素(如硼)后,就可形成 P 型半导体。由于三价元素最外层只有三个价电子,那么与四价元素形成共价键时,将会存在一个多余的空穴,如图 1.1.5 所示。考虑到本征激发产生的少量电子空穴对, P 型半导体中空穴的浓度远大于自由电子的浓度,成为多子,自由电子浓度较低,成为少子。N 型半导体主要依靠空穴导电,因此也被称为空穴型半导体。

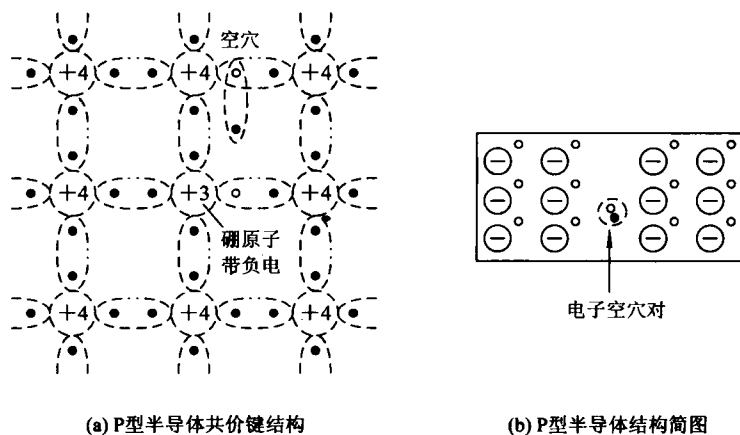


图 1.1.5 P 型半导体结构

1.1.3 PN 结及其特性

在一块本征半导体上,通过一定的掺杂工艺,一边形成 P 型半导体,一边形成 N 型半导体,那么在界面处将形成一个具有特殊功能的薄层,称为 PN 结。PN 结的形成参见图 1.1.6。在 P 型半导体和 N 型半导体的两侧,由于载流子浓度的差别形成多子的扩散运动, P 区的空穴向 N 区扩散, N 区的电子向 P 区扩散。P 区一侧失去空穴留下不能移动的负离子, N 区一侧则失去电子留下不能移动的正离子,这些离子不能参与导电,在 P 区和 N 区交界面处形成正、负离子的薄层,称为空间电荷区,并产生内电场,方向由 N 区指向 P 区,