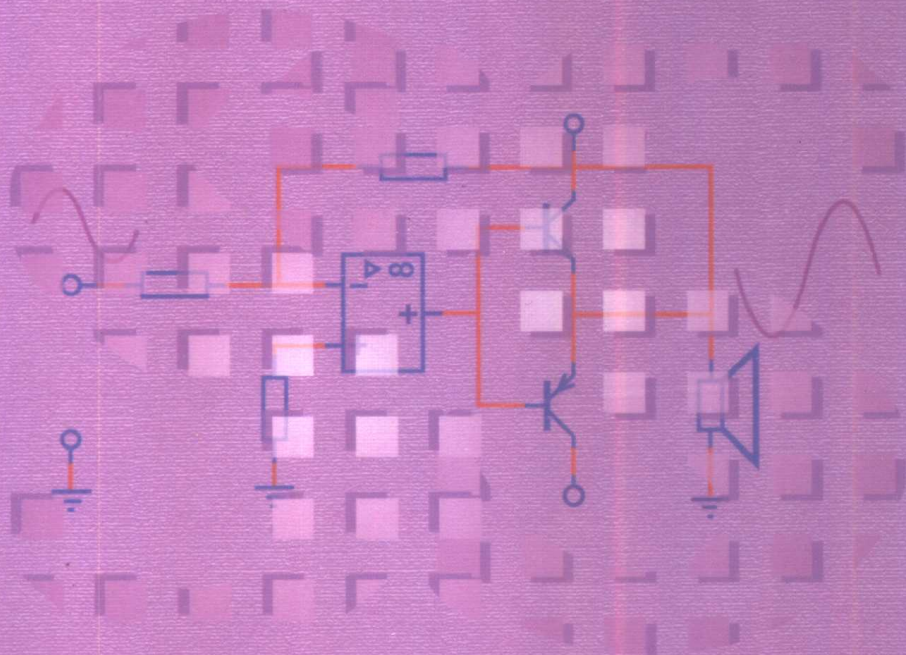


21世纪大学课程辅导丛书

模拟电子技术

重点难点及典型题精解

马积勋 编著



西安交通大学出版社

21 世纪大学课程辅导丛书

模拟电子技术重点难点 及典型题精解

马积勋 编著

西安交通大学出版社
·西安·

内 容 简 介

本书是以国家教委批准,1993年修订的《电子技术基础课程教学基本要求》的内容为基本依据编写的,它全面总结了模拟电子学中的基本概念、常用电路、各种分析方法和计算方法,以及这些概念和方法在解题中的应用。书中对所选典型例题的题意、解题思路、容易混淆的概念、容易产生的错误进行了分析,还给出多种解题方法,以扩展读者的思路。每章末均附有自我检测题,并给出答案,可以帮助读者检查自己对基本概念、分析计算方法的理解和掌握程度。

本书可供报考有关专业研究生的读者作系统复习用书,也可作为大学在校学生学习模拟电子技术基础时的辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术重点难点及典型题精解 / 马积勋编著. — 西安:西安交通大学出版社,2001.6
(21世纪大学课程辅导丛书)
ISBN 7-5605-1271-2

I. 模... II. 马... III. 模拟电路-高等学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 68359 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)
长安县第二印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:25.5 字数:777 千字
2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷
印数:0 001~5 000 定价:35.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

本书是根据国家教育委员会高等工业学校电子技术课程教学指导小组于 1993 年修订的《电子技术基础课程教学基本要求》编写的一本模拟电子技术基础辅导教材。是 21 世纪大学(专业)基础课辅导丛书之一。可供有志报考硕士研究生的考生复习之用,也可作为在校大学生学习模拟电子技术基础课程时的参考书。

在本书编写中,注意了下列一些特点:(1) 目前面向 21 世纪的教材已经面世,教材和教学内容正处于新、旧交替阶段。因此,本书的内容应能承前启后,既以课程的教学基本要求为基点,又应略超前于基本要求。(2) 本书在比较全面地总结模拟电子学的基本概念、基本原理和常用分析方法的基础上,给出了各章的基本知识点以及分析计算的基本依据。在内容上,与各种电子学教材既有联系,又保持了一定的独立性,使本书能配合不同的教材,适用于不同院校的学生。(3) 现行教材各章后的习题有增多的趋势,但例题却越来越少,所以学生不缺题做,但缺少解题的方法。故本书选用了较多的典型题作例题,给出多种解法,以扩展读者的思路。(4) 在例题选取及求解中,注重启迪思考,循序渐进。还把一些综合性的复杂题,分解成几个小题,层层求解,逐步深入,使读者学会分析求解综合题的方法。(5) 电子技术基础是一门实践性很强的课程,模拟部分和数字部分又是电子技术基础课程不可分割的两个部分,在实际应用的电子系统中,也往往同时含有模拟电路和数字电路。但在以往的教学和考核中,对课程内容与实验内容的联系、模与数的联系关注不够。在本书的第 12 章给出了“模、数电路综合”及“实验性试题”,这仅仅是作为一种探索,希望在今后的教学和考核中能引起注意。(6) 不少例题后附有“分析”,其内容为:题意分析;解题思路分析;概念引伸;容易混淆的一些概念和容易出现的错误分析。通过“分析”,可使读者加深对基本概念的理解,并能通过对一个例题的剖析,掌握求解一类问题的能力。

书末附录中的考研模拟题,是在收集到的兄弟院校的历届考研题基础上,根据其难度、题型、分值比例而编写的,可供读者复习时参考。

本书的编写得到了西安交大出版社及学校各级领导的关心和支持。我的一些老师和朋友,特别是浙江大学的周庭阳老师、华中理工大学的朱如琪老师、西南交通大学的吴广宁老师给予了关心和帮助,在此向他们表示深深的感谢。徐正红及马晖参加了本书的部分编写工作。

限于编者的水平,书中难免会有错误和不妥之处,敬请读者批评和指正。

编 者

2000 年 11 月于西安交大

常用符号表

1. 几点约定

(1) 电压、电流

u (或 i) 小写、下标小写, 表示交流电压 (或电流) 瞬时值。

u (或 i) 小写、下标大写, 表示含直流分量的电压 (或电流) 总瞬时值。

U (或 I) 大写、下标小写, 表示交流电压 (或电流) 有效值。

U (或 I) 大写、下标大写, 表示直流电压 (或电流)。

$U_{(av)} (I_{(av)})$ 表示交流电压 (或电流) 平均值。

(2) 电阻

R 表示电阻器的电阻或电路的等效电阻

r 表示器件内部的等效动态电阻

2. 电路参数符号

(1) 电压、电流

i_i, u_i 交流输入电流, 交流输入电压

i_o, u_o 交流输出电流, 交流输出电压

I_Q, U_Q 静态电流, 静态电压

U_{ic} 共模输入电压

U_{id} 差模输入电压

U_R 基准电压、参考电压

U_T 温度电压当量

U_{TH} 阈值电压

(2) 频率、时间

f_{bw} 通频带 (即 -3dB 带宽)

f_H 上限截止频率

f_L 下限截止频率

f_0 振荡频率、中心频率、特征频率

f_p 通带截止频率

t_r 上升时间

T 周期 (或温度)

ω_H 上限截止角频率

ω_L 下限截止角频率

τ 时间常数

(3) 电阻

R_i 输入电阻

R_{if} 闭环输入电阻

R_L 负载电阻

R_o 输出电阻

R_{of} 闭环输出电阻

R_S 信号源内阻或场效应管电路的源极电阻

(4) 功率

P_c 集电极功耗

P_o 输出功率

P_v 电源消耗功率

(5) 放大倍数(增益)

$A_i(A_{if})$ 开环(闭环)电流放大倍数

$A_r(A_{rf})$ 开环(闭环)互阻放大倍数

$A_s(A_{sf})$ 开环(闭环)互导放大倍数

$A_u(A_{uf})$ 开环(闭环)电压放大倍数

A_{uc} 共模电压放大倍数

A_{ud} 差模电压放大倍数

A_{um} 中频电压放大倍数

A_{us} 考虑信号源内阻时的电压放大倍数

F 反馈系数

F_i 电流反馈系数

F_r 互阻反馈系数

F_s 互导反馈系数

F_u 电压反馈系数

(6) 其它

K_{CMR}, K_{CMRR} 共模抑制比

D 非线性失真系数

τ 效率

ϕ 相位角

3. 器件参数符号

(1) 半导体二极管

r_d 二极管动态电阻

r_z 硅稳压管动态电阻

C_b 势垒电容

C_d 扩散电容

C_j 结电容

I_F 额定整流电流

I_R 反向电流

I_S 反向饱和电流

I_{ZM} 硅稳压管最大稳定电流

$U_{(BR)}$ 反向击穿电压

U_F 正向电压降

U_Z 硅稳压管的稳定电压

(2) 半导体三极管

f_a 共基极截止频率

f_β 共射极截止频率

f_T 特征频率

g_m 跨导(即互导)

$r_{bb'}$ 基区体电阻

$r_{b'e}$ 发射结微变等效电阻

r_{be} 共射结输入电阻

I_{CBO} 发射极开路时集电极-基极间反向饱和电流

I_{CEO} 基极开路时集电极-发射极间穿透电流

I_{CM} 集电极最大电流

P_{CM} 集电极最大允许功耗

$U_{(BR)CBO}$ 发射极开路时集电极-基极间反向击穿电压

$U_{(BR)CEO}$ 基极开路时集电极-发射极间反向击穿电压

U_{CES} 集电极饱和电压降

$\alpha(\bar{\alpha})$ 共基极交流(直流)电流放大系数

$\beta(\bar{\beta})$ 共射极交流(直流)电流放大系数

(3) 场效应晶体管

r_{DS} 漏源间等效电阻

C_{DS}, C_{GD}, C_{GS} 漏源、栅漏、栅源间极间电容

I_{DSS} 饱和漏极电流

P_{DM} 漏极最大耗散功率

$U_{(CR)DS}$ 漏源击穿电压

$U_{GS(off)}$ 夹断电压,以往也用 U_P 表示

$U_{GS(th)}$ 开启电压,以往也用 U_T 表示

(4) 集成运算放大器

f_{bw} 开环带宽

A_{ud} 开环电压增益

I_{IB} 输入偏置电流

I_{IO} 输入失调电流

K_{CMRR} 共模抑制比

K_{SVR} 电源电压抑制比

R_{id} 差模输入电阻

R_{os} 输出电阻

S_R 输出电压转换速度(即压摆率)

U_{ICM} 最大共模输入电压

U_{IDM} 最大差模输入电压

U_{IO} 输入失调电压

α_{IIO} 输入失调电流温度系数

α_{UIO} 输入失调电压温度系数

目 录

前言

常用符号表

第 1 章 半导体二极管和三极管

1.1 基本知识点	(1)
1.1.1 PN 结	(1)
1.1.2 半导体二极管	(3)
1.1.3 半导体三极管	(6)
1.2 分析计算的基本依据	(8)
1.3 本章内容的重点	(9)
1.4 典型题精解	(9)
1.4.1 二极管电路	(9)
1.4.2 晶体管及其偏置	(13)
1.5 自我检测题	(16)

第 2 章 晶体管基本放大电路

2.1 基本知识点	(21)
2.1.1 放大电路的组成及其工作原理	(21)
2.1.2 三种基本分析方法	(24)
2.1.3 三种基本放大电路比较	(25)
2.1.4 静态工作点的稳定	(26)
2.1.5 放大电路的频率特性	(27)
2.2 分析计算的基本依据	(29)
2.3 本章内容的重点	(32)
2.4 典型题精解	(32)
2.4.1 放大电路的静态计算	(32)
2.4.2 放大电路的动态计算	(38)
2.5 自我检测题	(47)

第 3 章 场效应晶体管及其电路

3.1 基本知识点	(52)
3.1.1 场效应管	(52)
3.1.2 场效应管基本放大电路	(57)
3.1.3 场效应管的其它应用	(58)
3.2 分析计算的基本依据	(58)
3.3 本章内容的重点	(60)
3.4 典型题精解	(60)

3.4.1 场效应管电路的静态分析	(60)
3.4.2 场效应管基本放大电路的动态分析	(65)
3.4.3 场效应管组成的其它电路	(70)
3.5 自我检测题	(72)

第4章 多级放大电路及集成运算放大器

4.1 基本知识点	(77)
4.1.1 多级放大电路	(77)
4.1.2 集成运放的特点和组成	(79)
4.1.3 差动放大电路	(79)
4.1.4 电流源电路	(81)
4.1.5 复合管结构及输出级电路	(82)
4.1.6 集成运放电路简介	(83)
4.2 分析计算的基本依据	(85)
4.3 本章内容的重点	(87)
4.4 典型题精解	(87)
4.4.1 多级放大电路	(87)
4.4.2 差动放大电路	(92)
4.4.3 电流源及其应用	(96)
4.4.4 复合管电路	(99)
4.5 自我检测题	(101)

第5章 放大电路中的反馈

5.1 基本知识点	(107)
5.1.1 反馈的基本概念	(107)
5.1.2 负反馈放大电路的四种组态	(108)
5.1.3 负反馈对放大电路性能的影响	(110)
5.1.4 负反馈放大电路的自激振荡及其消除	(111)
5.2 分析计算的基本依据	(112)
5.3 本章内容的重点	(113)
5.4 典型题精解	(114)
5.4.1 反馈类型判别及其对放大电路性能的影响	(114)
5.4.2 深反馈电路	(120)
5.4.3 不满足深反馈条件的负反馈放大电路	(125)
5.4.4 负反馈放大电路的自激振荡	(130)
5.5 自我检测题	(131)

第6章 运算电路

6.1 基本知识点	(137)
6.1.1 理想运放的概念	(137)
6.1.2 集成运放组成的运算电路	(137)
6.1.3 模拟乘法器	(138)

6.2 分析计算的基本依据·····	(139)
6.3 本章内容的重点·····	(141)
6.4 典型题精解·····	(142)
6.4.1 集成运放组成的线性运算电路·····	(142)
6.4.2 集成运放组成的非线性运算电路·····	(158)
6.4.3 含模拟乘法器的运算电路·····	(160)
6.5 自我检测题·····	(161)

第7章 有源滤波电路

7.1 基本知识点·····	(169)
7.1.1 滤波电路的基础知识·····	(169)
7.1.2 有源滤波器的实现·····	(171)
7.1.3 开关电容滤波器·····	(174)
7.2 分析计算的基本依据·····	(176)
7.3 本章内容的重点·····	(178)
7.4 典型题精解·····	(178)
7.4.1 一阶有源滤波电路·····	(178)
7.4.2 二阶有源滤波电路·····	(186)
7.4.3 多态滤波电路和开关电容滤波器·····	(198)
7.5 自我检测题·····	(200)

第8章 集成运算放大器的开环和正反馈应用

8.1 基本知识点·····	(203)
8.1.1 集成运放组成的电压比较器·····	(203)
8.1.2 非正弦波形产生电路·····	(208)
8.2 分析计算的基本依据·····	(210)
8.3 本章内容的重点·····	(211)
8.4 典型题精解·····	(211)
8.4.1 比较器·····	(211)
8.4.2 非正弦波发生器·····	(222)
8.5 自我检测题·····	(227)

第9章 正弦波形的产生及变换

9.1 基本知识点·····	(231)
9.1.1 正弦波振荡电路的组成及产生振荡的条件·····	(231)
9.1.2 RC 正弦波振荡电路·····	(232)
9.1.3 LC 正弦波振荡电路·····	(233)
9.1.4 石英晶体正弦波振荡器·····	(235)
9.1.5 波形变换电路·····	(236)
9.2 分析计算的基本依据·····	(236)
9.3 本章内容的重点·····	(237)
9.4 典型题精解·····	(238)

9.4.1 RC 正弦波振荡电路	(238)
9.4.2 LC 及石英晶体正弦波振荡电路	(242)
9.4.3 波形变换电路	(246)
9.5 自我检测题	(250)

第 10 章 功率放大电路

10.1 基本知识点	(256)
10.1.1 功率放大电路的特点和分类	(256)
10.1.2 变压器耦合功率放大电路	(257)
10.1.3 直接耦合功率放大电路	(259)
10.1.4 功放管的散热	(262)
10.2 分析计算的基本依据	(262)
10.3 本章内容的重点	(264)
10.4 典型题精解	(264)
10.4.1 OCL 和 OTL 电路	(264)
10.4.2 变压器耦合功放电路	(272)
10.4.3 功放管的散热计算	(275)
10.5 自我检测题	(276)

第 11 章 直流电源

11.1 基本知识点	(281)
11.1.1 直流稳压电源的组成	(281)
11.1.2 整流与滤波	(281)
11.1.3 稳压电路	(283)
11.2 分析计算的基本依据	(285)
11.3 本章内容的重点	(287)
11.4 典型题精解	(287)
11.4.1 整流、滤波电路	(287)
11.4.2 线性稳压电路	(291)
11.4.3 开关型稳压电路	(297)
11.5 自我检测题	(298)

第 12 章 客观题和综合题的分析

12.1 客观题剖析	(303)
12.2 模、数电路综合	(312)
12.3 实验性试题	(317)

自我检测题的答案或提示

附录

1. 1995 年西安交通大学攻读硕士学位研究生入学考试《电子技术基础》试题	(339)
2. 1996 年西安交通大学攻读硕士学位研究生入学考试《电子技术基础》试题	(343)
3. 1997 年西安交通大学攻读博士学位研究生入学考试《电子技术》试题	(346)

4. 硕士研究生入学考试《模拟电子技术基础》模拟试题(Ⅰ)	(351)
(参考资料:1994~1999 年西安交通大学硕士研究生入学考试《电子技术基础》试题)	
5. 硕士研究生入学考试《模拟电子技术基础》模拟试题(Ⅱ)	(354)
(参考资料:1996~1999 年上海交通大学硕士研究生入学考试《电子技术基础》试题)	
6. 硕士研究生入学考试《模拟电子技术基础》模拟试题(Ⅲ)	(358)
(参考资料:1996~1998 年华中理工大学硕士研究生入学考试《电子技术基础》试题)	
7. 硕士研究生入学考试《模拟电子技术基础》模拟试题(Ⅳ)	(362)
(参考资料:1991~1996 年浙江大学硕士研究生入学考试《电子技术基础及电子线路》试题)	
8. 西安交通大学《模拟电子技术基础》期末考试题(1997~1998 学年第一学期)	(364)
9. 西安交通大学《模拟电子技术基础》期末考试题(1998~1999 学年第二学期)	(369)
10. 《模拟电子技术基础》期末考试模拟试题(Ⅰ)	(372)
11. 《模拟电子技术基础》期末考试模拟试题(Ⅱ)	(376)
模拟试题解答	(380)

参考文献

第 1 章 半导体二极管和三极管

1.1 基本知识点

1.1.1 PN 结

1. 本征半导体

(1) 高度提纯,几乎不含杂质的半导体称为本征半导体。

(2) 硅和锗是常用的半导体材料,均属四价元素,原子序号分别为 14 和 32,它们的原子外层均有四个价电子,与相邻四个原子的价电子组成共价键。制造半导体器件的硅和锗材料被加工成单晶结构,图 1.1 分别是硅、锗原子的简化模型和它们的晶体结构平面示意图。

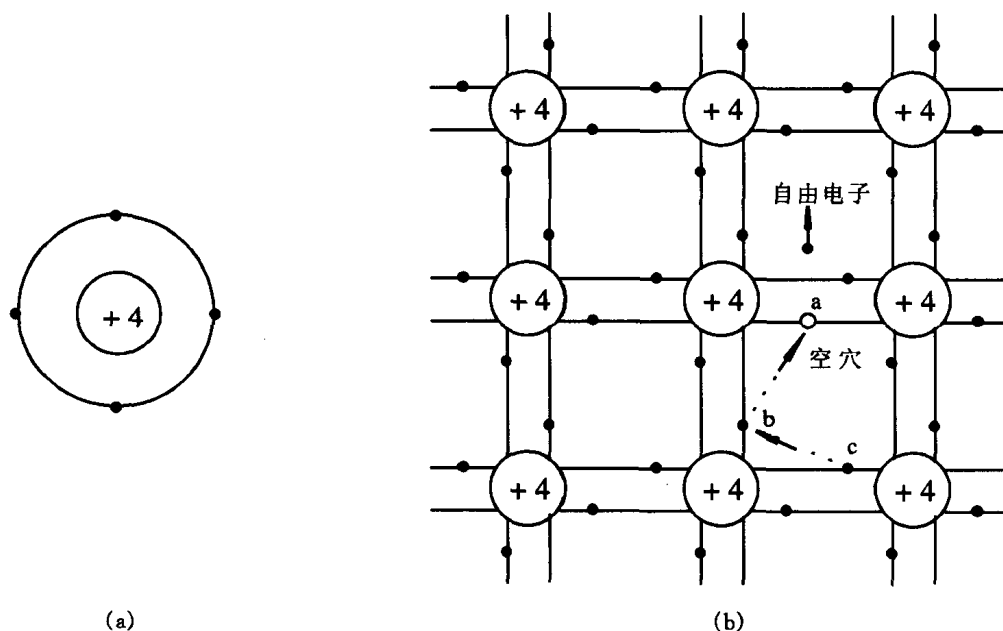


图 1.1 半导体晶体结构平面示意图

(a) 硅和锗原子的简化模型; (b) 半导体晶体结构平面示意图

(3) 共价键中的价电子受激发获得能量并摆脱共价键的束缚成为“自由电子”(简称电子),并在原共价键的位置上形成一个“空穴”,这一过程称为本征激发。热、光、电磁辐射等均可使本征激发产生,但热激发是半导体材料中产生本征激发的主要因素。

(4) 电子被共价键俘获而回到空穴处,使一个电子和一个空穴同时消失,称为复合。

(5) 电子和空穴均是能够自由移动的带电粒子,称为载流子。电子带负电荷,空穴带正电荷。空穴在电场作用下定向移动形成电流,实际上是共价键中的价电子在作填补空穴的移动,方向与空穴移动的方向相反。

(6) 本征半导体特点:

a. 本征激发产生成对电子和空穴。

b. 温度越高,电子空穴对的浓度越大。外部条件一定时,不断有本征激发产生新的电子和空穴,也不断

有电子与空穴复合而消失,达到动态平衡。室温下,电子、空穴对浓度较低,故电阻率大,导电性能差。

2. 掺杂半导体

(1) N型半导体:也称电子型半导体,是在本征硅(或锗)半导体中,掺入如磷(P)、砷(As)这类五价施主杂质后形成,如图 1.2(a)所示。这种半导体中,电子是多数载流子(简称多子),空穴是少数载流子(简称少子),还有不能自由移动、不参与导电的正离子(不属载流子)。

(2) P型半导体:也称空穴型半导体,是在本征硅(或锗)半导体中,掺入如硼(B)、镓(Ga)这类三价受主杂质后形成,如图 1.2(b)所示。这种半导体中,空穴是多子,电子是少子,还有不能自由移动、不参与导电的负离子(不属载流子)。

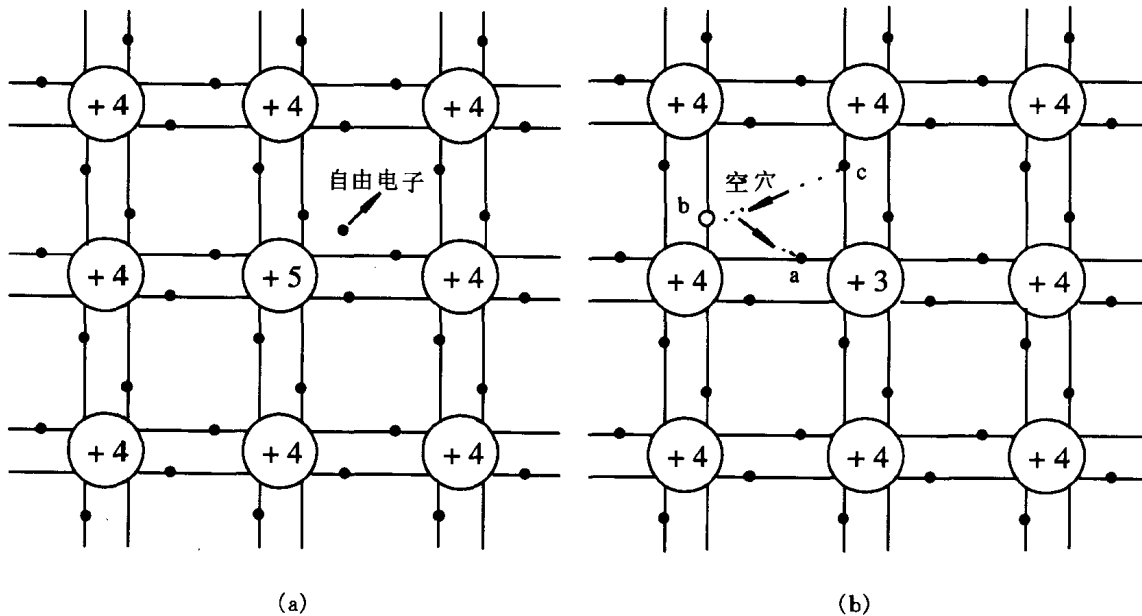


图 1.2 掺杂半导体示意图
(a) N型半导体; (b) P型半导体

(3) N型和P型半导体中,多子的浓度决定于掺杂的多少,掺入的杂质越多,多子浓度就越大。少子由本征激发产生,其浓度主要取决于温度,温度越高,少子浓度越大。

(4) 转型:在N型半导体中掺入比原有的五价杂质更多的三价杂质元素,可转型为P型;P型半导体掺入足够的五价杂质元素也可转型为N型。

3. PN结形成

(1) 将一种掺杂半导体(N型或P型)通过局部转型,使之分成N型和P型两个部分,在交界面两侧,存在载流子浓度差,多子互相扩散,留下了一个几乎没有多子而只有正离子或负离子的区域,这就是PN结,如图 1.3所示。

(2) PN结也称为耗尽层、空间电荷区或势垒区。

(3) 空间电荷,即正、负离子,使交界面两侧有电位差,称为势垒。它们产生的电场称自建场。自建场的存在不利于多子扩散,但有利于少子在电场力作用下的漂移。

(4) PN结外加电压为零,且环境条件稳定时,多子扩散与少子漂移达到动态平衡,PN结中的扩散电流和漂移电流大小相等(方向相反),流过PN结的净电流为零。

4. PN结的单向导电特性

(1) 当PN结外加反向电压(P型半导体接外施电压电位低的一端、N型半导体接外施电压电位高的一

端)时,外电压在 PN 结中产生与自建场方向一致的电场,不利于多子扩散,有利于少子漂移。此时,PN 结变宽,势垒提高,只流过很小的由少子漂移形成的反向电流(也称为反向饱和电流),PN 结呈现为高电阻,处于反向截止状态。

(2) 当 PN 结外加正向电压(P 型半导体接外施电压电位高的一端、N 型半导体接外施电压电位低的一端)时,外加电压在 PN 结中产生的电场削弱了自建场,有利于多子扩散,不利于少子漂移。此时,PN 结变薄,势垒降低,流过由多子扩散形成的大的正向电流。PN 结呈现为低电阻,处于正向导通状态。

5. PN 结的击穿

当外加 PN 结的反向电压超过某一特定电压时,反向电流急剧地增大,这种现象叫做击穿。

(1) 电击穿和热击穿:刚开始击穿时,反向电流还不那么大,若降低反向电压,PN 结仍能正常工作,这种还未损坏 PN 结的击穿称为电击穿。发生电击穿后,继续提高反向电压,流过 PN 结的反向电流增大到一定数值时,会使 PN 结过热而损坏,这种造成 PN 结损坏的击穿称为热击穿。

(2) 齐纳击穿和雪崩击穿:按击穿机理,击穿分为这两种。齐纳击穿发生于掺杂浓度高的 PN 结,击穿时,PN 结内的电场强度很高,使大量价电子受电场力作用而脱离共价键,并参与导电,这种击穿发生需要的反向电压(即击穿电压)一般低于 4 V。雪崩击穿发生于掺杂浓度低的 PN 结,是由于碰撞电离加剧而产生的击穿,击穿电压一般大于 6 V。击穿电压介于 4~6 V 时,这两种击穿同时发生。

6. PN 结的电容效应

偏置电压的改变使空间电荷区的宽度改变,电荷量也随之变化,类似于电容的充放电,PN 结的这种效应用势垒电容 C_b 等效。当偏置电压改变时,流过 PN 结的电流也发生改变,在 P 型和 N 型半导体的中性区中,由对方扩散来的多子(称为非平衡少子)浓度梯度变化,存储在中性区的这些非平衡少子的电荷总量改变,类似于电容充、放电的效应,用扩散电容 C_d 等效。PN 结的结电容 C_j 为这两个电容之和。PN 结反偏时,结电容虽然小,但结电阻高,所以,结电容的影响反而很大。

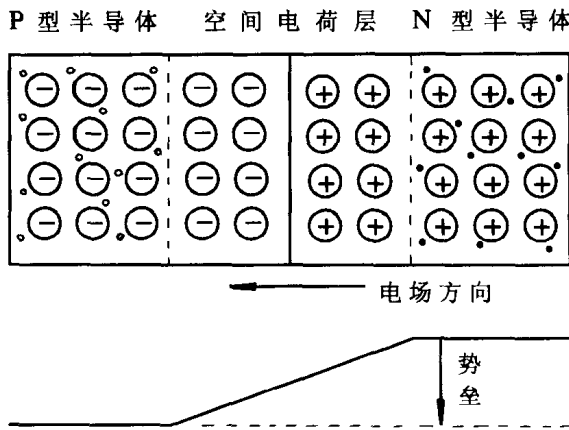


图 1.3 PN 结形成

1.1.2 半导体二极管

1. 结构和类型

(1) 半导体二极管由一个 PN 结,再加上电极、引线,封装而成。

(2) 类型:二极管的分类及用途如表 1.1 所示。这一表格的内容并不要求一下记住,只是帮助你对二极管的概貌有所了解。在电子技术基础模拟部分的课程中,大家只要了解常用的普通二极管及少数几种常用的特种二极管。

表 1.1 半导体二极管的类型

分类方法	主要类型
制作工艺	合金型二极管;扩散型二极管;合金扩散型二极管;平面型二极管;外延型二极管
结构形态	点接触二极管;面接触二极管;台面二极管;肖特基势垒二极管;PIN 二极管;体效应二极管;双基极二极管;双向二极管

续表 1.1

分类方法		主要类型
应用范围	普通应用	检波二极管;整流二极管;稳压二极管;开关二极管;恒流二极管
	光电应用	光电二极管;太阳能电池;发光二极管;激光二极管
	微波应用	变容二极管;阶跃恢复二极管;崩越二极管;隧道二极管;肖特基势垒二极管;体效应二极管
	敏感应用	温敏二极管;磁敏二极管;力敏二极管;气敏二极管;湿敏二极管;光敏二极管

点接触型和平面型二极管是常用的两种。前者结面积小、结电容小,适用于高频、小电流的电路,如检波电路。后者的形式较多,其中有结面积大的,因此结电容也大,适用于低频、大电流电路,如整流电路。

2. 半导体二极管的伏安特性 $i_D = f(u_D)$

二极管的伏安特性如图 1.4 所示,有以下两个部分:

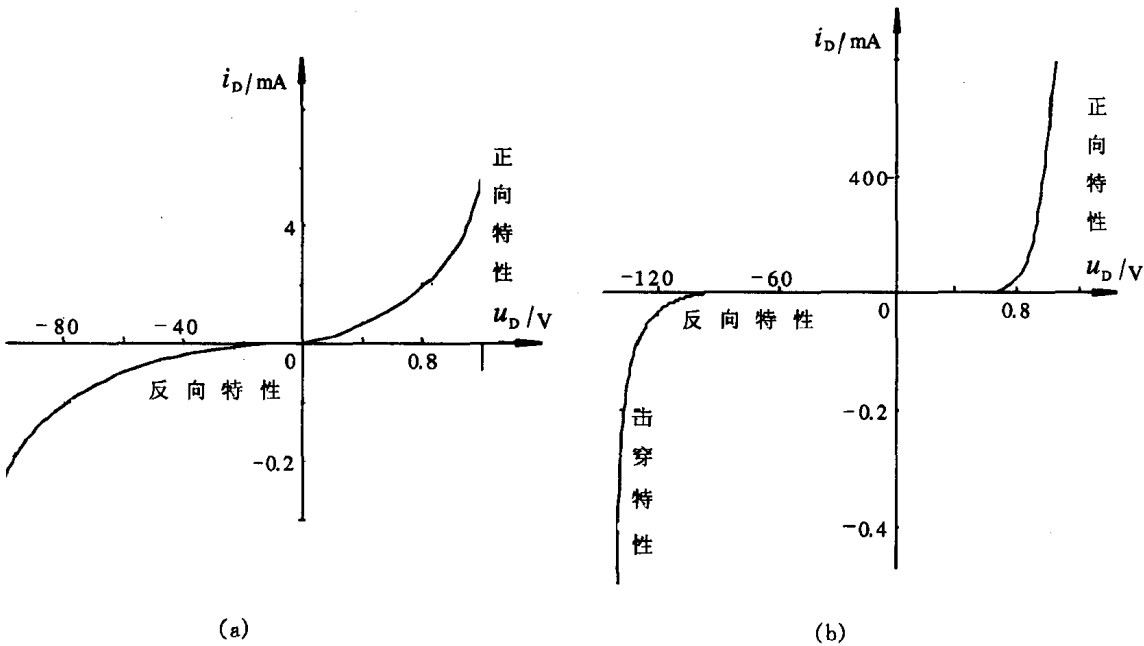


图 1.4 半导体二极管的伏安特性曲线

(a) 2AP7 型锗二极管的伏安特性曲线; (b) 2CP33B 型硅二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性:特性曲线的第 I 象限部分,曲线呈指数曲线状,非线性。正向电压很低时,正向电流几乎为零,这一区间称为“死区”,对应的电压范围称为死区电压或阈值电压,锗管的死区电压约为 0.1 V,硅管的死区电压约 0.5 V。

(2) 反向特性:反向电流很小,但当反向电压过高时,PN 结发生击穿,反向电流急剧增大。

温度上升时,二极管的正向特性曲线向纵轴的方向移动;反向特性向反向电流增大的方向移动。

3. 二极管的主要电参数

(1) 二极管的主要电参数有:反向电流 I_R ,正向压降 U_{DF} (平均值),最高工作频率 f_M ,最大整流电流 I_F ,最大反向工作电压 U_R 等。每一型号的二极管,在技术手册中总是以极值给出这些参数。

(2) 温度对二极管参数的影响: 温度上升时, 反向电流增大, 温度每增加 10°C , 反向电流提高一倍; 温度上升时, 二极管的正向压降减小, 温度每增加 1°C , 正向压降减小 $2\sim 2.5\text{ mV}$ 。

4. 二极管的微变等效电路

当二极管正向电流有微小变化时, 二极管对于这种微小的变化信号可以用如图 1.5 所示的电路等效, 称为二极管的微变等效电路。切记: 它只能对于交流小信号等效, 其中 r_d 称为动态电阻或交流电阻, 由下式给出

$$r_d = \frac{du_D}{di_D} \quad (1.1)$$

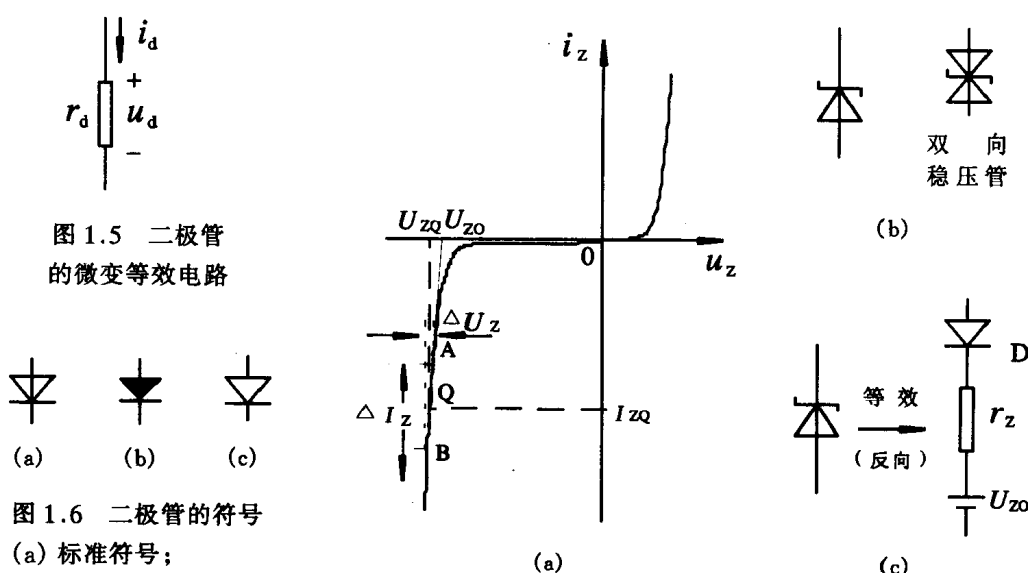


图 1.5 二极管的微变等效电路

图 1.6 二极管的符号
(a) 标准符号;
(b) 传统符号;
(c) 理想二极管的符号

图 1.7 硅稳压二极管

(a) 伏安特性曲线; (b) 符号; (c) 等效电路(反向工作时)

5. 理想二极管

为了简化二极管电路的分析, 设二极管导通时电压降为零(相当于短路)、截止时反向电流为零(相当于开路), 这种假设的、现实并不存在的二极管称为理想二极管, 符号如图 1.6(c)所示。

6. 硅稳压二极管

硅稳压二极管是模拟电子电路中常用的一种特种二极管。

图 1.7 是它的伏安特性曲线、符号和等效电路。

(1) 硅稳压二极管(以下简称稳压管)在发生电击穿时, 在反向电流变化的很大范围内, 管子两端电压几乎不变, 利用这一特性可稳压。

(2) 硅稳压管的主要参数有: 稳定电压 U_Z , 稳定电流 I_Z , 动态电阻 r_Z , 最大稳定电流 I_{ZM} , 耗散功率 P_{ZM} 及 U_Z 的温度系数 α_U 等。

(3) U_Z 小于 4 V 的稳压管, α_U 为负; U_Z 大于 6 V 的稳压管, α_U 为正; U_Z 介于 $4\sim 6\text{ V}$ 间的 α_U 较小, 且可能为正, 也可能为负。

7. 变容二极管

利用 PN 结的电容效应制成。在模拟电子电路中, 它常用来组成压(电压)控电容。图 1.8 是变容二极管

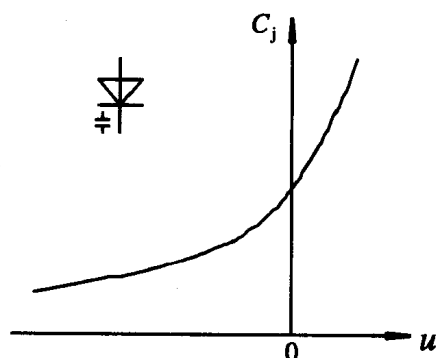


图 1.8 变容二极管的符号及 $C-U$ 特性