



高等职业教育电子信息类专业规划教材

GAO DENG ZHI YE JIAO YU DIAN ZI XIN XI LEI ZHUAN YE GUI HUA JIAO CAI



模拟电子技术 应用与任务指导

■ 王兆珍 主 编

■ 王英大 杨翠峰 副主编



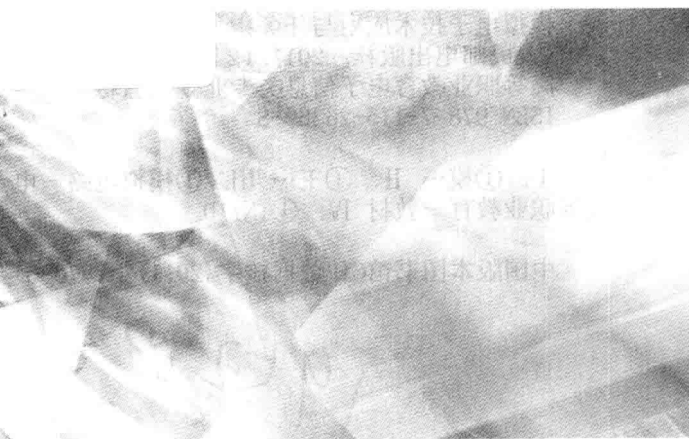
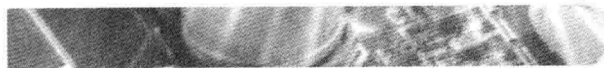
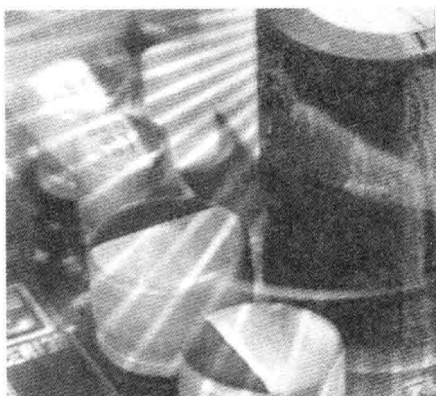
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高等职业教育电子信息类专业规划教材

GAO D

XI LET ZHUAN YE GUI HUA JIAO CAI



模拟电子技术 应用与任务指导

■ 王兆珍 主 编

■ 王英大 杨翠峰 副主编

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术应用与任务指导 / 王兆珍主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2011. 12
高等职业教育电子信息类专业规划教材
ISBN 978-7-115-26369-8

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187086号

内 容 提 要

本教材是为了适应当前模拟电子技术基础课程的教学改革,在作者多年教学实践经验积累的基础上编写而成的。本书重视职业素养和工程意识的形成,在全书内容布局上进行了精心组织和编排,注重保证基础,突出介绍重点和分析方法,结合运用具体的一体化教学案例教程,展开技术应用、技能训练和实际任务指导。符合高等职业教育的教学特点。

本书通俗易懂,深入浅出,以培养电子技术应用能力为主线,把理论和实践教学环节有机结合起来,教法和学法指导蕴涵其中。可以灵活运用教学内容和各种教学方法,充分调动学生的积极性和主动性,培养学生掌握运用电子技术基础知识和专项技能基本功,提高教学效果。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校及本科院校二级职业技术学院和民办高校电类专业“模拟电子技术基础”、“低频电子线路”等课程的教材,也可供其他从事电子技术工作的工程技术人员参考。

高等职业教育电子信息类专业规划教材

模拟电子技术应用与任务指导

-
- ◆ 主 编 王兆珍
 - 副 主 编 王英大 杨翠峰
 - 责任编辑 李 强
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.25
字数: 438 千字 2011 年 12 月第 1 版
印数: 1-3 000 册 2011 年 12 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-26369-8

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

《模拟电子技术》是电气类、电子信息类等各专业的一门重要技术基础课，也是电专业中承上启下的一门课程。它的任务是使学生获得模拟电子技术的基础知识、基本理论、基本分析方法和电路应用能力；训练电子应用电路制作与调试的基本技能；培养学生严谨的科学态度、科学的思维方法、技术创新能力、团队协作精神和严格的工程质量及技术规范意识。只有从中巩固所学的理论知识，学会基本的操作技能，培养实际的工作能力，才能为学习后续课程奠定必要的基础。本书在编写和教学实践中遵循和采取了如下一些举措。

一、符合教学目标和基本要求

现代科学技术的发展，对人才结构和培养目标提出了新的要求，从事本专业的技术人员，不仅要具有一定的理论基础，而且要具备较强的实际操作能力，学习后使学生掌握基本理论，提高理论联系实际的能力，授课中加有实训内容，突出技术性与实用性。要求由感性认识引出理论，再由理论到实际应用，可使学生打下牢固的理论与应用基础，提高分析问题和解决问题的能力。本书是为了适应当前模拟电子技术基础课程的教学改革，在多年教学实践经验积累和成功教育工程实施案例的基础上编写而成的。重视职业素养和工程意识形成，对全书内容布局进行了精心组织和编排，注重保证基础，突出介绍重点和分析方法，结合运用具体的一体化教学案例教程，以展开知识学习积累、技术应用、技能训练和实际任务指导。符合高等职业教育的教学特点。

二、理论与实践应用有机结合，教法和学法蕴涵其中

本书通俗易懂，深入浅出，编排内容共8章，并有十个实训模块-任务指导实例。书中每章后都配有技能训练课题、小结、自测题、思考题和习题。以培养电子技术应用能力为主线，能够做到把理论和实践教学环节有机结合起来，教法和学法指导蕴含其中。可以灵活运用教学内容和各种教学方法，充分调动学生的积极性和主动性，培养学生掌握运用电子技术基础知识和专项技能基本功，提高教学效果。

本书容教法与学法于一体，在组织教学中具有可操作性。每章节、课题单元既有相对独立性，又密切、相互关联，尽量做到详略得当、使理论和应用实践完美地统一起来。以循序渐进式分析管件特性和应用，以5种典型电路工作方式分析应用电路功能，以技能训练课题、实训模块-任务指导教程开展应用测试和方法训练，可使学生们的在教学做一体化教学进程中，进一步巩固学生对本书知识的学习，将理论知识转化为实际应用能力。

在教材编写逻辑推进和教学中总结了以下思路和方法。

1. 管为路用工作方式：运用核心器件发挥电路开关、放大等功能。它贯穿第一章半导体二极管及其应用和第二章半导体三极管及基本放大电路至全书的始终。
2. 闭环传输工作方式：运用有自动调节作用的反馈网络，对放大电路性能产生影响，增强对第3章负反馈放大电路、第4章集成运算放大电路理解和分析运用。
3. 自激产生工作方式：运用正反馈和选频网络环节发挥自激振荡产生信号波形的电路功能，在第5章振荡电路中，有进一步突出的表现。

4. 推挽互补工作方式：运用一推一拉的互补器件发挥功率放大的电路功能，可见第 6 章低频功率放大电路的分析应用。

5. 组合三部曲工作方式：运用整流、滤波、稳压环节的组合器件，三部曲式实现了直流稳压电源电路功能，知识的运用达到了融会贯通。

模拟电子技术理论知识抽象，多年来一直是学生们认为比较难学的一门课程。但它的实践性、应用性、趣味性强，以上述“趣味性单元五工作方式”的引入，是化解难题的金钥匙。正如任何复杂的事物都存在着简单的因子一样，要善于发现、捕捉、探索并展开应用。把抽象的事物形象化，把复杂的事物简单化，在探究中掌握知识、解决问题，收获了分析方法，建立多维思维方式，学会多种工作方式，运用到学习和今后的工作中。教师和学生会得到成功的喜悦和无穷的乐趣。

三、教学内容安排和运行模式

按照突出应用性、实践性原则，在教学内容的安排中，紧密结合职业岗位要求优化教学内容的合理设置，加强理论教学与实践教学的结合，在它们的运行轨迹中，运用综合体系内容来多层次、全方位地寻找更多的切入点，突出了本课程对学生实践应用能力和动手能力培养的重要地位。

本课程讲解可采取串行和并行相结合的教学实施运行办法，即完成小单元课题教学可串行进行，大单元课题任务可并行进行，要占用几个教学整周或并行教学周实现，以达到教学目标。根据需要选取组合所学内容，充分利用和整合教学资源，有效安排好教学及训练时间，将会很好地推进实现任务式一体化教学模式，并在适应学生个性发展的基础上，开展综合性、创新性课题训练，培养提升学生创新和综合能力。

本书由王兆珍任主编，并负责全书统稿。王英大编写了第 8 章十个实训模块—任务指导实例；第 2、3 章由王兆珍编写；第 1、4 章由许素玲编写；第 5、6 章由杨翠峰编写；第 7 章由王敬辉编写，刘慧敏参编；附录和书后自测题由王敬辉编写；书后思考题和习题由贾强编写。王敬辉协助主编对全书习题进行整理和校对并绘制了部分图稿。

由于编者水平有限，书中难免错漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 8 月

目 录

第 1 章 半导体二极管及应用	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
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 半导体二极管的结构	4
1.2.2 二极管的伏安特性	5
1.2.3 二极管的主要参数	6
1.3 二极管电路的分析方法	7
1.4 二极管电路的应用	11
1.5 特殊二极管	13
1.5.1 稳压二极管	13
1.5.2 光电器件	14
1.5.3 变容二极管	15
1.6 技能训练项目	16
训练一 二极管的识别与检测	16
训练二 用逐点法测试二极管的特性曲线	19
本章小结	21
自测题	21
思考及练习	22
第 2 章 半导体三极管及基本放大电路	25
2.1 晶体三极管	25
2.1.1 晶体三极管的结构、电路符号及分类	25
2.1.2 晶体三极管的放大工作条件与电流放大作用	26
2.1.3 晶体三极管的输入、输出特性曲线	28
2.1.4 晶体三极管的主要参数	31
2.1.5 晶体三极管的主要应用	33
2.2 共发射极基本放大电路	34
2.2.1 放大电路基本知识	34

2.2.2	共发射极放大电路的组成及工作原理	38
2.2.3	直流通路与交流通路	41
2.3	晶体三极管放大电路的分析方法	44
2.3.1	工程近似法	44
2.3.2	放大电路的图解分析法	45
2.3.3	微变等效电路分析法	51
2.4	稳定工作点的偏置电路	53
2.5	共集电极放大电路和共基极放大电路	59
2.5.1	共集电极放大电路	60
2.5.2	共基极放大电路	61
2.6	场效应管及其应用电路	63
2.6.1	绝缘栅场效应管	63
2.6.2	结型场效应管	68
2.6.3	场效应管的主要参数	69
2.6.4	场效应管放大电路	70
2.7	差分放大电路	72
2.7.1	基本差分放大电路	72
2.7.2	差分放大电路的 4 种接法	78
2.7.3	具有恒流源的差分放大电路	79
2.8	放大电路的频率特性与多级放大电路	83
2.8.1	频率特性的概念与分析	83
2.8.2	多级放大电路	89
2.8.3	直流多级放大电路的应用	93
2.8.4	通用型集成运算放大器的组成及其基本特性	95
2.9	技能训练项目	98
	训练一 晶体三极管的识别与检测	98
	训练二 晶体三极管基本应用电路测试	99
	训练三 单管共发射极放大电路测试	100
	本章小结	101
	自测题	102
	思考与练习	106

第 3 章	负反馈放大电路	112
3.1	反馈的基本概念	112
3.1.1	反馈放大电路的组成	112
3.1.2	反馈的极性与类型	114
3.1.3	反馈的判断	115
3.2	负反馈对放大电路性能的影响	120
3.2.1	提高放大电路增益的稳定性	120

3.2.2	对输入电阻与输出电阻的影响	121
3.2.3	减小失真与扩展通频带	122
3.3	深度负反馈放大电路分析	123
3.3.1	放大电路引入负反馈的一般原则	123
3.3.2	深度负反馈放大电路的特点及性能估算	124
3.4	技能训练项目	127
本章小结		130
自测题		131
思考与练习		133
第4章	集成运算放大电路	136
4.1	基本运算放大电路	136
4.1.1	比例运算	136
4.1.2	加法与减法运算	137
4.1.3	微分与积分运算	138
4.1.4	基本运算电路应用举例	139
4.2	集成运算放大电路的应用	141
4.2.1	集成运算放大器应用电路调整与元器件的选择	141
4.2.2	线性集成电路应用电路的调试与测试	141
4.3	技能训练项目	143
训练一	集成运算放大电路的组装与测试	143
本章小结		146
自测题		147
思考与练习		148
第5章	振荡电路	151
5.1	正弦波振荡电路	151
5.1.1	正弦波振荡电路的工作原理	152
5.1.2	RC 振荡电路	153
5.1.3	LC 振荡电路	158
5.1.4	石英晶体振荡电路	163
5.2	非正弦波信号产生电路	166
5.2.1	电压比较器	166
5.2.2	方波产生电路	170
5.2.3	锯齿波与三角波产生电路	172
5.3	技能训练项目	174
训练一	RC 音频振荡电路	174
训练二	LC 正弦波振荡电路	175
本章小结		175

自测题	176
思考与练习	177
第 6 章 低频功率放大电路	179
6.1 功率放大器的特点及分类	179
6.1.1 功率放大器的特点	179
6.1.2 功率放大器的分类	180
6.2 变压器耦合功率放大器	181
6.2.1 单管功率放大器	181
6.2.2 推挽功率放大器	184
6.3 互补对称功率放大器	188
6.3.1 乙类双电源互补对称功率放大器	188
6.3.2 单电源互补对称功率放大器	190
6.3.3 甲乙类互补对称功率放大器	192
6.3.4 复合管互补对称功率放大器	195
6.3.5 集成功率放大器	197
6.4 功率放大器的应用	200
6.4.1 功率放大器实际应用电路	200
6.4.2 功率放大器应用中的几个问题	204
6.5 技能训练项目	205
训练一 扩音机的制作	205
训练二 无输出变压器功率放大器	207
本章小结	208
自测题	209
思考与练习	210
第 7 章 直流稳压电源	212
7.1 整流电路	212
7.1.1 单相半波整流电路	213
7.1.2 单相全波整流电路	214
7.2 滤波电路	217
7.2.1 电容滤波电路	217
7.2.2 电感滤波电路	219
7.2.3 复式滤波电路	220
7.3 稳压电路	220
7.3.1 硅稳压二极管稳压电路	221
7.3.2 串联型稳压电路	223
7.3.3 集成稳压电路	225
7.4 技能训练项目	228

本章小结·····	230
自测题·····	232
思考与练习·····	233
第 8 章 模拟电子技术实训模块——任务指导 ·····	235
8.1 电子元器件的检测·····	235
8.2 电子电路调试基本方法的训练·····	242
8.3 放大器的制作与调试·····	243
8.4 集成运算放大电路的制作与调试·····	246
8.5 振荡电路的制作与调试·····	248
8.6 直流稳压电源的制作与调试·····	250
8.7 晶体三极管收音机的制作与调试·····	254
8.8 直流稳充电器的制作与调试·····	257
8.9 功率放大器的制作与调试·····	259
8.10 黑白电视机装调基本功训练·····	261
8.11 整体训练的考核方法及要求·····	264
附录 A 电阻器、电容器基础知识 ·····	265
A.1 电阻器·····	265
A.2 电容器·····	270
附录 B 本书常用符号表 ·····	276
参考文献 ·····	279

第 1 章 半导体二极管及应用

半导体器件具有体积小、重量轻、集成度高、稳定性好、使用寿命长等诸多优点，在现代电子技术中得到了广泛应用。半导体二极管是最简单的半导体器件，它由一个 PN 结构成，具有单向导电性。

1.1 半导体基础知识

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常用的半导体材料有硅（Si）、锗（Ge）、硒（Se）、砷化镓（GaAs）及其他一些金属氧化物和硫化物等。其中应用较广泛的是硅和锗两种材料，它们都是四价元素，在原子结构最外层轨道上有 4 个价电子。

1.1.1 本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体。本征半导体的最外层电子（称为价电子）除受到原子核吸引外，还受到共价键的束缚，因而它的导电能力很差。半导体的导电能力易受外界条件的影响。它具有热敏特性和光敏特性，即在温度升高或受到光照的条件下，半导体材料的导电能力增强。这是由于价电子从外界获得能量，挣脱共价键的束缚而成为自由电子。这时，在共价键结构中留下相同数量的空位。每次原子失去价电子后，变成正电荷的离子。从等效观点来看，每个空位相当于带一个电子电荷量的正电荷，称之为空穴，如图 1.1 所示。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。显然，自由电子和空穴是成对出现的，所以称它们为电子-空穴对。我们把在热或光的作用下，本征半导体中产生电子空穴对的现象，称为本征激发（或热激发）。在本征激发条件下，只有少数价电子挣脱共价键的束缚，进入导带形成电子空穴对，所以本征半导体导电率很低。在半导体中，空穴也参与导电。其导电实质是在电场作用下相邻共价键中的价电子填补了空穴而产生新的空穴，而新的空穴又被其相邻的价电子填补，这个过程持续下去，就相当于带正电荷的空穴在移动，其示意如图 1.2 所示。

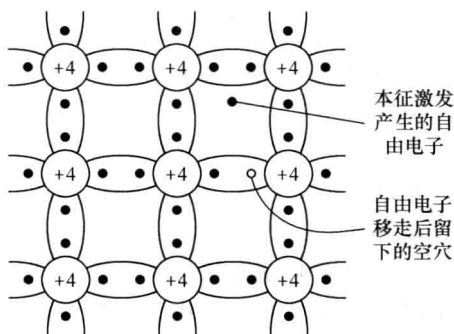


图 1.1 本征激发产生电子-空穴对示意

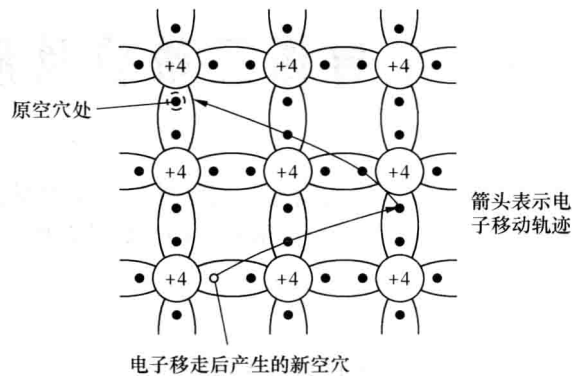


图 1.2 电子与空穴的移动

1.1.2 杂质半导体

半导体还具有掺杂特性。本征半导体的导电能力很差，但是在本征半导体中掺入极少量杂质（某种微量元素）后，所增加的多子浓度就会远远大于室温条件下本征激发所产生的载流子的浓度，极大地改善了半导体的导电性能。这样的半导体就叫做杂质半导体。

杂质半导体是制造半导体器件的基本材料。根据掺入的杂质不同，又可将杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

1. N 型半导体

如图 1.3 (a) 所示，当在本征半导体硅（或锗）中掺入微量五价元素（如磷、砷）后，每个五价原子与相邻 4 个四价原子组成共价键时，在杂质原子取代硅原子的位置上，便有一个多余价电子处于共价键之外。在室温下，这个多余的价电子就能挣脱原子核的吸引而成为自由电子，杂质原子便成为带正电的离子。在这种杂质半导体中，除了杂质元素释放的自由电子之外，半导体本身还存在本征激发产生的电子-空穴对，其电子数远大于空穴数。自由电子导电成为此类杂质半导体的主要导电方式，故称它为电子型半导体，也叫 N 型半导体。在 N 型半导体中，多数载流子（简称多子）是自由电子，而少数载流子（简称少子）是空穴。

2. P 型半导体

如图 1.3 (b) 所示，在硅（或锗）的晶体内掺入少量三价元素杂质，如硼（或铟）等。硼原子只有 3 个价电子，它与周围硅原子组成共价键时，因缺少一个电子，在晶体中便产生一个空穴。在一定温度下，此空穴极易接收来自相邻四价原子共价键中的价电子，从而又产生一个空穴。这个空穴与本征激发产生的空穴都是载流子，具有导电性能。在这类杂质半导体中，空穴数远远大于自由电子数，空穴为多数载流子（简称多子），自由电子为少数载流子（简称少子），导电以空穴为主，故此类半导体被称为空穴型半导体，也叫 P 型半导体。

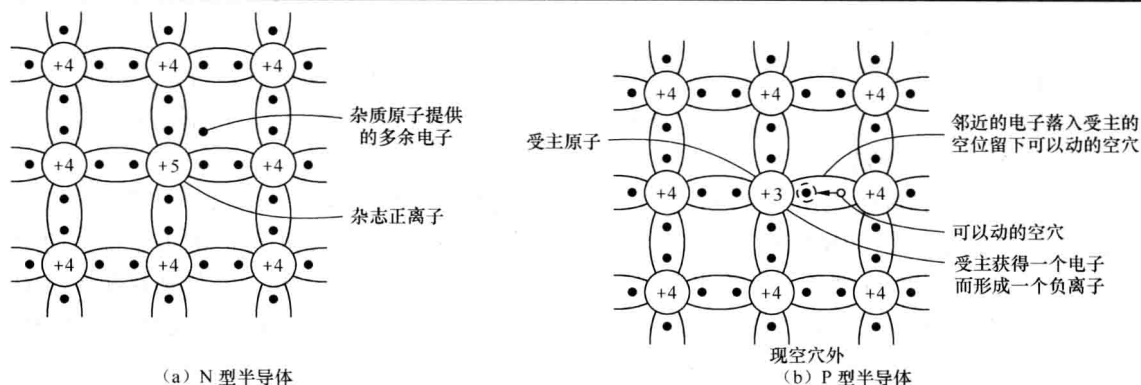


图 1.3 掺杂后的半导体

1.1.3 PN 结

PN 结是构成半导体器件的基本单元，了解与掌握 PN 结的形成与 PN 结的基本特性将有助于对半导体器件的学习与使用。

1. PN 结的形成

利用半导体特殊掺杂工艺在一块本征半导体两边分别掺入不同的杂质生成 P 型和 N 型半导体（P 区和 N 区），经过载流子的扩散，在它们的交界面处形成了 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

P 区的多子是空穴，N 区的多子是电子，由于 PN 结交界处两侧同类载流子的浓度差异极大，因此形成了高浓度的多子向低浓度的少子一侧的扩散运动。由于 P 区的空穴浓度远大于 N 区的空穴浓度，因此 P 区的空穴便向 N 区扩散，并与 N 区的自由电子复合。同理，N 区的自由电子便向 P 区扩散，并与 P 区的空穴复合。结果，在交界面两侧形成一个带异性电荷的离子层，称为“空间电荷区”，并产生内电场，其方向是从 N 区指向 P 区，内电场的建立阻碍了多数载流子的扩散运动，却有利于少数载流子的运动。随着内电场的加强，多子的扩散运动逐步减弱，直至停止，使交界面形成一个稳定的特殊的薄层，即 PN 结。在内电场的作用下，少子的运动叫做漂移运动。多子的扩散和少子的漂移是两类方向相反的运动。随着内电场的加强，多子的扩散运动逐步减弱，少子的漂移运动不断增强，当扩散过去的多子数目与漂移过来的少子数目相等时，便达到了动态平衡。此时，内电场的强度和 PN 结的宽度就处于稳定状态，如图 1.4 所示。

因为在空间电荷区内多数载流子已扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此空间电荷区又称为“耗尽层”。又由于空间电荷区的内电场对多子的扩散运动起阻挡作用，故又可称空间电荷区为“阻挡层”。

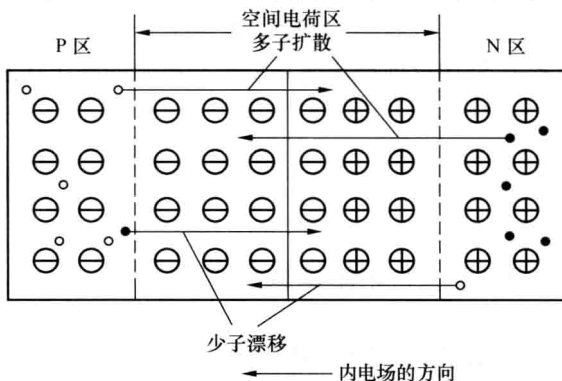


图 1.4 PN 结的形成过程

2. PN 结的单向导电特性

处于平衡状态下的 PN 结是没有价值的。PN 结的基本特性是单向导电性，该特性只有在 PN 结上外加电压才能显示出来。在 PN 结两端外加电压，称为给 PN 结以偏置电压。

(1) PN 结加正向电压

当 P 区相对于 N 区电压为正时，称 PN 结正向偏置（简称正偏）。由图 1.5 可见，外电场与内电场的方向相反。PN 结在外加正向电压的作用下，P 区的空穴和 N 区的电子都要向空间电荷区移动，从而打破了原有的平衡状态。进入空间电荷区的电子和空穴分别要和原有的一部分正负离子中和，致使空间电荷量减少，空间电荷区变窄，由此形成的扩散电流即为 PN 结的正向电流。此时，PN 结处于正向导通状态。

(2) PN 结加反向电压

当 N 区相对于 P 区电压为正时，称 PN 结反向偏置（简称反偏）。由图 1.6 可见，由于外电场与内电场的方向一致，因而加强了内电场，使 PN 结加宽，阻碍了多子的扩散运动。在外电场的作用下，只有少数载流子形成的很微弱的电流，称为 PN 结的反向电流。此时，PN 结处于反向截止状态。由于少数载流子是由于热激发产生的，因而 PN 结的反向电流受温度影响很大。

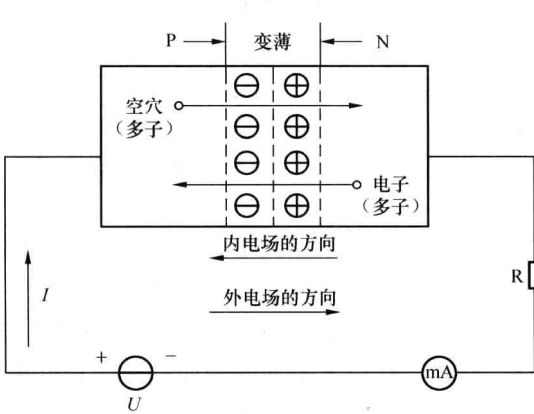


图 1.5 PN 结加正向电压

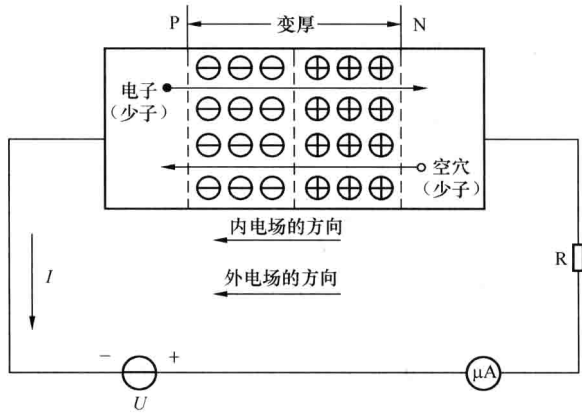


图 1.6 PN 结加反向电压

由以上分析可知，当 PN 结在一定的电压范围内，外加正向电压时，处于低电阻的导通状态；外加反向电压时，处于高电阻的截止状态。这种导电特性，就是 PN 结的单向导电性。

1.2 半导体二极管

1.2.1 半导体二极管的结构

利用 PN 结的单向导电性可以制造半导体二极管（简称二极管），二极管是结构最简单也是应用最广泛的半导体器件之一。

二极管是由管芯（主要是 PN 结）及从 P 区和 N 区分别引出的两根电极——阳极（正极）、阴极（负极）和用塑料、玻璃或金属封装的外壳组成。二极管结构的示意如图 1.7（a）所示。二极管的电路符号如图 1.7（b）所示，箭头指向为正向导通时电流方向。图 1.7（c）为一些

常见的二极管外形。

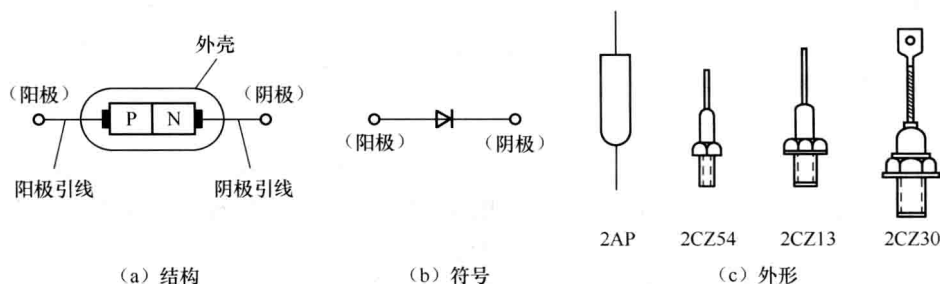


图 1.7 二极管的结构、符号及外形

按其结构的不同，二极管分为点接触型二极管和面接触型二极管。

1. 点接触型二极管

点接触型二极管如图 1.8 (a) 所示，它的 PN 结面积小，因此不能通过较大的电流，同时它的结电容也小，所以适用于高频检波或在数字电路中作开关元件。

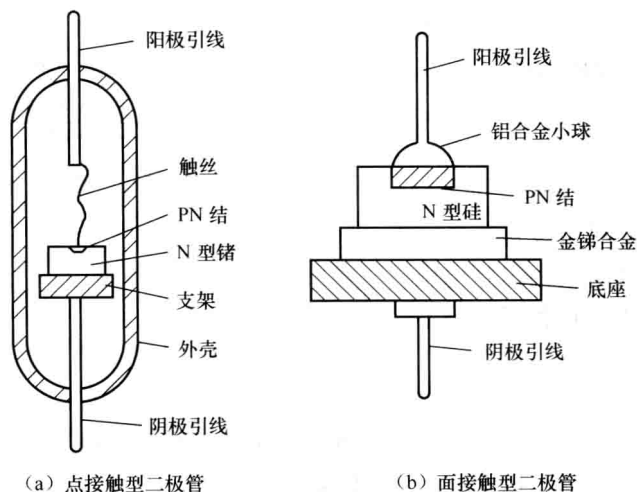


图 1.8 二极管的结构类型

2. 面接触型二极管

面接触型二极管如图 1.8 (b) 所示，它的结面积大，可以承受较大的电流，但其结电容也大，只能工作在较低的频率下，主要用于整流电路中。

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的导电性能由加在二极管两端的电压和流过二极管的电流来表现，这两者之间的关系称为二极管的伏安特性。理论分析指出，在一定的近似条件下，其关系可表示为

$$I = I_R (e^{\frac{U}{U_T}} - 1) \quad (1.1)$$

此式称为理想二极管电流方程。式中, I_R 称为反向饱和电流, U_T 称为温度的电压当量, 常温下 $U_T \approx 26\text{mV}$ 。用于定量描述这两者关系的曲线叫伏安特性曲线。图 1.9 给出了二极管的伏安特性曲线, 它直观地描述了二极管电压与电流的关系。由图 1.9 可见, 二极管的导电特性可分为正向特性和反向特性两部分。

1. 正向特性

二极管两端加正向电压时, 就产生正向电流。正向电压较小时, 正向电流极小 (几乎为零), 这一部分称为死区, 相应的 $A(A')$ 点的电压称为死区电压或门槛电压 (也称阈值电压), 硅管约为 0.5V , 锗管约为 0.1V , 如图 1.9 中 $OA(OA')$ 段。

当正向电压超过门槛电压时, 正向电流就会急剧增大, 二极管呈现很小电阻而处于导通状态。硅管的正向导通压降为 $0.6\sim 0.7\text{V}$, 锗管为 $0.2\sim 0.3\text{V}$, 如图 1.9 中的 $AB(A'B')$ 段。二极管正向导通时, 要特别注意它的正向电流不能超过最大值, 否则 PN 结将烧坏。

2. 反向特性

当给二极管两端加上反向电压时, 形成的反向电流是很小的, 而且在很大范围内基本不随反向电压的变化而变化, 即保持恒定。此时的电流称为反向饱和电流, 用 I_R 表示见图 1.9 中的 $OC(OC')$ 段。

3. 反向击穿特性

如反向电压不断增大, 当增大到一定数值时, 反向电流会突然增大, 如图 1.9 中的 $CD(C'D')$ 段, 这种现象称为反向击穿, 此时对应的电压称为反向击穿电压, 用 U_{BR} 表示。正常使用二极管时, 是不允许出现这种现象的。

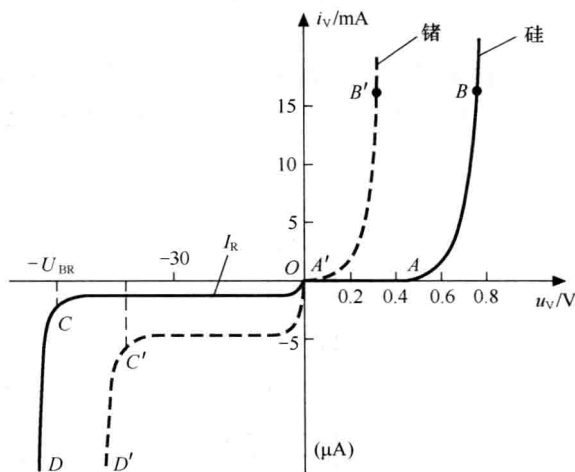


图 1.9 二极管伏安特性曲线

不同材料、不同结构和不同工艺制成的二极管, 其伏安特性有一定差别, 但伏安特性曲线的形状基本相似。从二极管伏安特性曲线可以看出, 二极管的电压与电流变化不呈线性关系, 其内阻不是常量, 所以二极管属于非线性器件。

二极管的导电特性与温度有关, 伏安特性随温度的变化而变化。通常温度每升高 1°C , 二极管导通压降将减小 2.5mV 左右。温度每升高 10°C , 反向电流增加约一倍, 反向击穿电压也会有所下降。

1.2.3 二极管的主要参数

电子元器件的参数是国家标准或制造厂家对生产的元器件应达到技术指标所提供的技术要求, 也是合理选择和正确使用器件的依据。二极管的参数是反映二极管性能质量的指标, 必须根据二极管的参数来合理选用二极管。

1. 最大整流电流

最大整流电流 (I_F) 是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流值, 由 PN 结的面积和散热条件所决定。工作时, 管子通过的电流不应超过这个数值, 否则将导致管子过

热而损坏。

2. 最大反向工作电压

最大反向工作电压 (U_{RM}) 是指二极管正常使用时允许加的最高反向电压。使用中如果超过此值, 二极管将会发生反向击穿。

3. 最大反向电流

最大反向电流 (I_{RM}) 是指二极管加上最大反向工作电压时的反向饱和电流。 I_{RM} 值越小, 二极管的单向导电性越好。使用时应注意温度对反向电流的影响。

4. 最高工作频率

最高工作频率 (f_M) 是指保持二极管单向导通时, 外加电压允许的最高频率。使用中如果超过了此值, 二极管的单向导电性将不能很好地体现。二极管工作频率与 PN 结的极间电容大小有关, 超过此值, 二极管的单向导电性能会变差。

二极管的参数可查阅有关半导体器件手册。

1.3 二极管电路的分析方法

由二极管的伏安特性已经知道二极管是非线性器件。所以, 含有二极管的电路是一个非线性电路。对这种电路, 要用解析法精确地计算出电路中的电压和电流往往比线性电路复杂得多。工程上常用图解法和等效电路法来分析, 这样所得的结果既能满足工程的实际要求, 又可使分析计算大大简化。

1. 图解法

图解法常用于确定二极管在直流工作状态下的电压和电流。如果电路比较复杂, 可先将除二极管以外的线性电路部分用戴维南定理简化成由电动势为 E 的理想电压源和电阻 R 串联的等效电路, 然后把二极管接上, 就成为单回路电路, 如图 1.10 (a) 所示。在该电路中, 如果电动势 E 使二极管正偏导通, 则可用图解法求出二极管两端的电压 U_D 和流过二极管的电流 I_D 。在电路中, 如果用直线 AB 将其分为两部分, 右边部分 I_D 与 U_D 之间的关系应满足二极管的正向伏安特性, 如图 1.10 (b) 中的曲线 OQC 所示。左边部分 I_D 和 U_D 的值应满足根据电路基本定律 (KVL) 写出的方程

$$U_D = E - I_D R \quad (1.2)$$

只有同时满足二极管的伏安特性和式 (1.2) 的 I_D 、 U_D 值才是该电路的解。为此, 可把式 (1.2) 所表示的直线 GF 画到二极管伏安特性曲线的坐标平面上, 令 $I_D=0$ 、 $U_D=E$, 得到 F 点; 令 $U_D=0$, $I_D=E/R$ 得到 G 点, 连接 G 、 F 两点得到直线 GF 。该直线的斜率为 $-1/R$, 由负载电阻 R 决定, 故称为负载线。负载线 GF 与二极管的伏安特性交于 Q 点, 将 Q 点称为该电路的静态工作点, Q 点的坐标值就是该电路的解, 即 $I_D=I_{DQ}$, $U_D=U_{DQ}$ 。

在图 1.10 (a) 中, 如果电动势 E 的值小于二极管的死区电压或者 E 为负值使二极管反偏时, 则二极管处于截止状态, 流过二极管的电流 $I_D \approx 0$, 端电压 $U_D=E$ 。

2. 等效电路法

将二极管的伏安特性曲线进行分段线性化处理, 就可以用某些线性元件来近似地代替二极管, 从而得到二极管的等效电路, 常用的有下面几种等效电路。