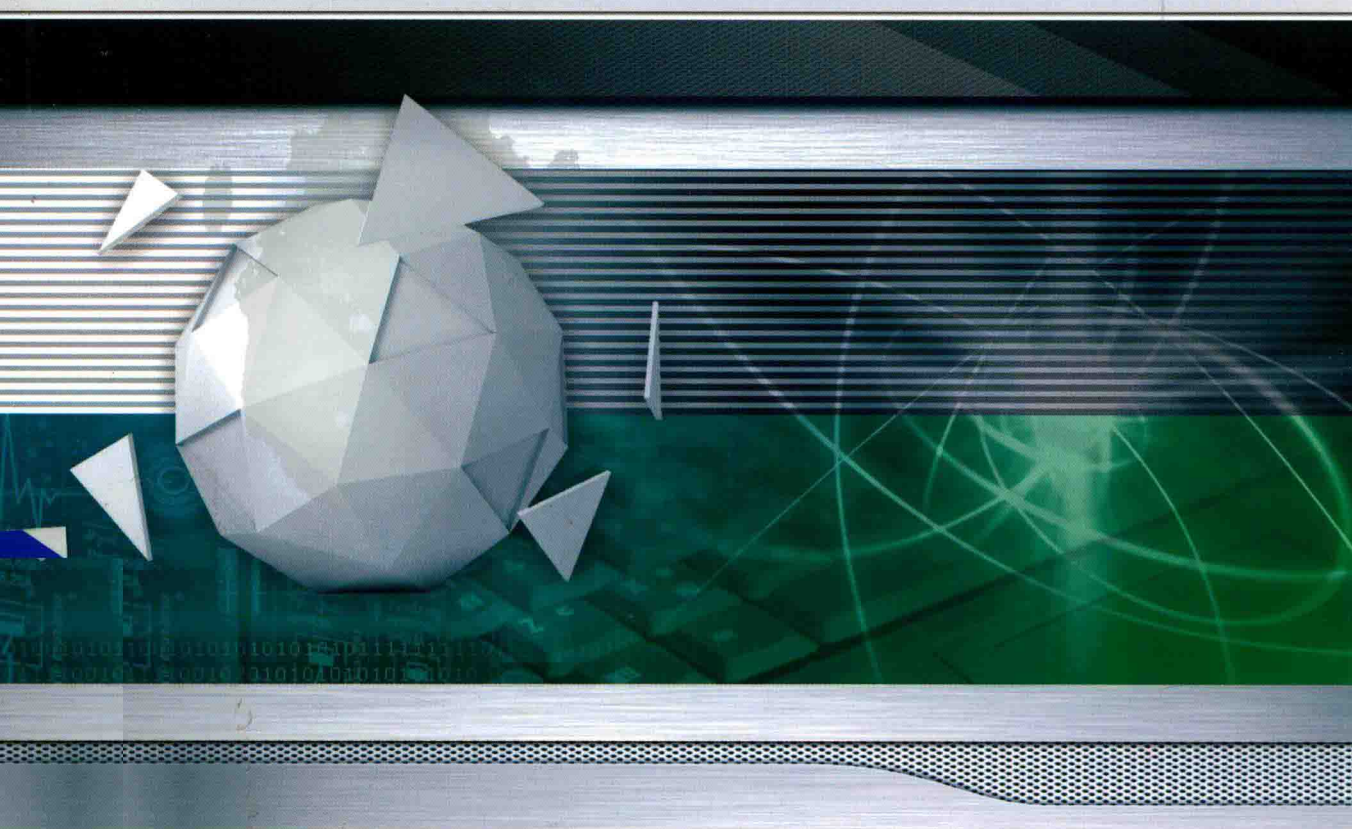


普通高等教育“十三五”规划教材

电子技术基础

秦雯◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、思考与习题
答案、模拟试卷及答案等

普通高等教育“十三五”规划教材

电子技术基础

主 编 秦 雯
副主编 刘文莉
参 编 赵娟娟 李芳芳
主 审 朱永芬

机械工业出版社

本书是在“必须、够用”的原则下，总结多年的教学实践经验编写而成。本书内容包括半导体器件、放大电路、放大电路中的反馈、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、数-模转换和模-数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件，共10章。为便于学生复习、巩固所学的知识，各章均配有小结、思考与习题。

本书可作为高等工科学校非电类专业的教材使用，也可供有关工程技术人员学习和参考。

为方便教学，本书配有免费电子课件、思考与习题答案、模拟试卷及答案等，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电（010-88379564）或邮件（cmpqu@163.com）索取，有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目（CIP）数据

电子技术基础/秦雯主编. —北京：机械工业出版社，2016.12

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-55618-3

I. ①电… II. ①秦… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 302681 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：曲世海 责任编辑：曲世海 韩 静

责任校对：刘雅娜 封面设计：陈 沛

责任印制：李 洋

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2017 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm • 14.5 印张 • 342 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-55618-3

定价：34.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

本书参照教育部 2005 年颁发的“高等学校电工学基础课程教学基本要求”，在“必须、够用”的原则下，总结多年的教学实践经验编写而成。本书可作为高等工科学校非电类专业的教材使用，也可供有关工程技术人员学习和参考。

创新性及实用性是编写本书的指导思想。本书在编写中力求体现以下特点：

1. 电子技术教学内容广泛，信息量大。本书力求讲清基本概念、分析准确、减少数理论证，做到深入浅出、通俗易懂。

2. 考虑到应用型本科学生实践能力要求较高这一点，在有些章节中加入了元器件使用、测试的常识，并且介绍了一些实际工程应用电路，便于学生掌握电路的分析方法，达到培养学生能力的目的。

3. 为了适应目前电子技术的飞速发展，本书以分立元器件为基础，以集成电路为重点，加强了数字电路的内容，增加了集成电路芯片的介绍，包括芯片型号、引脚排列图、功能表和常见的应用电路等，对集成电路芯片的内部电路及分析进行了删减，并加入了最新的可编程逻辑器件 FPGA 和 CPLD 器件。

本书由秦雯任主编并统稿。编写分工为：第 1 章、第 2 章、第 3 章由秦雯编写，第 4 章、第 9 章由李芳芳编写，第 6 章由刘文莉编写，第 5 章、第 7 章、第 8 章、第 10 章由赵娟娟编写。

由于我们的教学经验和学术水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大师生、读者批评和指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的主要特性	1
1.1.2 本征半导体	1
1.1.3 杂质半导体	2
1.1.4 PN 结的形成及单向导电性	4
1.2 二极管	5
1.2.1 二极管的结构	5
1.2.2 二极管的伏安特性	6
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.2.4 二极管的应用	7
1.3 特殊二极管	8
1.3.1 稳压二极管	8
1.3.2 发光二极管	9
1.3.3 光敏二极管	10
1.4 双极型晶体管	10
1.4.1 基本结构	10
1.4.2 晶体管的电流放大原理	11
1.4.3 晶体管的特性曲线	12
1.4.4 晶体管的主要参数	13
1.4.5 特殊晶体管	15
1.5 场效应晶体管	16
1.5.1 增强型绝缘栅场效应晶体管	16
1.5.2 耗尽型 MOS 场效应晶体管	18
1.5.3 场效应晶体管的主要参数、特点与选用	19
1.6 半导体器件的型号和检测	21
1.6.1 半导体器件的型号	21
1.6.2 半导体器件的检测	21
本章小结	23
思考与习题	23
第 2 章 放大电路	26
2.1 放大电路基础	26
2.1.1 放大电路的组成	26
2.1.2 放大电路的性能指标	27

2.2 基本放大电路的分析	28
2.2.1 基本放大电路的静态分析	28
2.2.2 放大电路的动态工作情况	30
2.2.3 基本放大电路的动态分析	30
2.3 分压式偏置电路	34
2.3.1 静态工作点对放大电路的影响	34
2.3.2 静态工作点的稳定	34
2.3.3 分压式偏置电路的计算	35
2.4 共集电极电路——射极输出器	37
2.5 多级放大电路	39
2.5.1 多级放大电路的耦合方式	39
2.5.2 阻容耦合多级放大电路的计算	40
* 2.5.3 放大电路的频率特性	40
* 2.6 场效应晶体管放大电路	42
2.6.1 场效应晶体管放大电路的静态分析	42
2.6.2 场效应晶体管放大电路的动态分析	43
2.7 功率放大电路	44
2.7.1 放大电路的工作状态	44
2.7.2 OCL 互补对称功率放大器	45
2.7.3 OTL 互补对称功率放大器	47
2.7.4 准互补对称功率放大器	48
2.7.5 集成功率放大器	48
2.8 集成运算放大器	49
2.8.1 集成运算放大器基础知识	49
* 2.8.2 差分放大电路	51
2.9 放大电路的检测	54
本章小结	56
思考与习题	57

第3章 放大电路中的反馈	60
3.1 反馈的基本概念及类型	60
3.1.1 反馈的基本概念	60
3.1.2 反馈类型的判断	60
3.1.3 负反馈放大电路中的四种组态	62
3.2 放大电路中的负反馈	64
3.2.1 反馈的一般表达式	64
3.2.2 负反馈对放大电路性能指标的影响	65
3.3 振荡电路中的正反馈	66
3.3.1 振荡的基本概念	66
3.3.2 正弦波振荡条件	67
3.3.3 正弦波振荡电路的组成和分析方法	67
3.3.4 RC 正弦波振荡电路	68

3.3.5 LC 正弦波振荡电路	70
* 3.3.6 石英晶体正弦波振荡电路	71
本章小结	73
思考与习题	73
第 4 章 集成运算放大器	78
4.1 集成运算放大器的主要参数	78
4.2 理想集成运算放大器	79
4.2.1 理想集成运算放大器的技术指标	79
4.2.2 集成运算放大器的工作区	80
4.3 集成运算放大器的线性应用	81
4.3.1 比例运算电路	81
4.3.2 加法运算电路	82
4.3.3 减法运算电路	83
4.3.4 积分和微分电路	84
4.3.5 测量放大器	85
4.4 集成运算放大器的非线性应用	85
4.4.1 单限电压比较器	85
* 4.4.2 滞回电压比较器	87
* 4.4.3 双限比较器	88
* 4.4.4 矩形波发生电路	89
* 4.4.5 三角波发生电路	90
* 4.4.6 锯齿波发生电路	90
4.5 集成运算放大器使用中的实际问题	91
本章小结	93
思考与习题	93
第 5 章 直流稳压电源	97
5.1 直流稳压电源的组成	97
5.2 二极管整流电路	98
5.2.1 单相半波整流电路	98
5.2.2 单相桥式整流电路	98
5.2.3 单相整流电路的主要参数	99
5.3 滤波电路	101
5.3.1 电容滤波电路	101
5.3.2 电感滤波电路	102
5.3.3 复式滤波电路	102
5.4 稳压电路	103
5.4.1 稳压管稳压电路	103
5.4.2 晶体管串联型稳压电路	104
5.4.3 三端集成稳压器	104

本章小结	107
思考与习题	107
第 6 章 数字电路基础	109
6.1 数字电路的基本概念	109
6.1.1 数字电路的分类和优点	109
6.1.2 数字信号的主要参数	110
6.2 数制和码制	110
6.2.1 数制	110
6.2.2 码制	115
6.3 逻辑函数与逻辑门	117
6.3.1 基本概念	117
6.3.2 三种基本逻辑函数及逻辑门	117
* 6.3.3 复合逻辑函数	121
6.4 集成逻辑门	123
6.4.1 TTL 集成逻辑门	124
6.4.2 CMOS 集成逻辑门	129
* 6.4.3 集成逻辑门的使用	132
6.4.4 集成逻辑门电路应用举例	133
6.5 逻辑代数的化简	134
6.5.1 逻辑代数的基本定律	134
6.5.2 逻辑函数的代数化简法	135
6.5.3 逻辑函数的卡诺图化简法	137
本章小结	142
思考与习题	142
第 7 章 组合逻辑电路	144
7.1 逻辑函数的表示方法及相互转换	144
7.1.1 逻辑函数的表示方法	144
7.1.2 逻辑函数表示方法的相互转换	145
7.2 组合逻辑电路的分析和设计	147
7.2.1 组合逻辑电路的分析	147
7.2.2 组合逻辑电路的设计	149
7.3 加法器	150
7.3.1 串行进位加法器	151
7.3.2 超前进位加法器	151
7.4 编码器	152
7.4.1 普通编码器	152
7.4.2 优先编码器	153
7.5 译码器	155
7.5.1 二进制译码器	155

7.5.2	二-十进制译码器	158
7.5.3	显示译码器	158
7.6	数据分配器和数据选择器	161
7.6.1	数据分配器	161
7.6.2	数据选择器	161
7.7	数值比较器	164
	本章小结	165
	思考与习题	165
第 8 章	时序逻辑电路	167
8.1	概述	167
8.2	触发器	168
8.2.1	基本 RS 触发器	168
8.2.2	钟控 RS 触发器	169
8.2.3	JK 触发器	171
8.2.4	D 触发器	172
8.2.5	触发器应用举例	173
* 8.3	时序逻辑电路分析方法	175
8.4	寄存器	178
8.4.1	数据寄存器	178
8.4.2	移位寄存器	178
8.5	计数器	181
8.5.1	二进制计数器	181
8.5.2	十进制计数器	184
8.5.3	任意模值计数器	185
8.6	555 定时器及其应用	189
8.6.1	555 定时器	189
8.6.2	555 定时器的典型应用	190
8.7	时序逻辑电路的应用	194
	本章小结	195
	思考与习题	196
第 9 章	数-模转换和模-数转换	199
9.1	概述	199
9.2	D-A 转换器	199
9.2.1	倒置 T 形电阻网络 D-A 转换器	199
9.2.2	D-A 转换器的主要技术指标	201
9.2.3	集成 D-A 转换器及应用	201
9.3	A-D 转换器	203
9.3.1	逐次比较型 A-D 转换器	203
9.3.2	A-D 转换器的技术指标	204

9.3.3 集成 A-D 转换器	204
本章小结	206
思考与习题	206
第 10 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	207
10.1 半导体存储器.....	207
10.1.1 只读存储器	207
10.1.2 随机存取存储器	211
10.2 可编程逻辑器件.....	212
10.2.1 概述	212
10.2.2 简单可编程逻辑器件	214
10.2.3 复杂可编程逻辑器件	215
本章小结	218
思考与习题	218
参考文献	219

1.2.3 二极管的主要参数

描述器件的物理量，称为器件的参数。它是器件特性的定量描述，也是选择器件的依据。各种器件的参数可由手册查得。二极管的主要参数有下面几个。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流 I_F 是指二极管长期使用时，允许流过二极管的最大正向平均电流。实际应用时的工作电流必须小于 I_F ，否则会过热而烧毁。此值取决于 PN 结的面积、材料和散热情况。

2. 最高反向工作电压 U_R

最高反向工作电压 U_R 是指管子运行时允许承受的最高反向电压。当反向电压超过此值时，二极管可能被击穿。为了留有余地，通常取击穿电压的一半作为 U_R 。

3. 反向电流 I_R

反向电流 I_R 是指一定的温度条件下，二极管加反向峰值工作电压时流过管子的反向饱和电流。反向电流越小，说明管子的单向导电性越好。反向电流受温度的影响，温度越高反向电流越大。硅管的反向电流较小，一般在几微安以下，锗管的反向电流要比硅管大几十到几百倍。

1.2.4 二极管的应用

二极管主要利用它的单向导电性，应用于整流、限幅、保护等场合。在应用电路中，关键是判断二极管的导通或截止。判断时可先写出二极管的阴、阳极电压，若承受正向电压则二极管导通，导通时一般用电压源 $U_D = 0.7V$ （锗管用 $0.2V$ ）代替，或当成理想二极管（近似用短路线代替）；若承受反向电压则截止，截止时二极管断开，即认为二极管反向电阻为无穷大。

1. 二极管用于整流

将交流电变成直流电的过程叫作整流。如图 1-12 所示，输入电压为正弦交流电压。在输入电压的正半周， $u_i > 0$ ，二极管正向导通，用短路线代替，输出电压 $u_o = u_i$ ；在输入电压的负半周， $u_i < 0$ ，二极管反向截止，二极管断开，输出电压 $u_o = 0$ 。

2. 二极管用于限幅

由二极管组成的限幅电路如图 1-13a 所示，其波形图如图 1-13b 所示。输入电压为正弦交流电压 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，直流电源电压 $U_s < U_m$ 。二极管阳极电压为 u_i ，阴极电压为 U_s 。当 $u_i < U_s$ 时，二极管承受反向电压截止， $u_o = u_i$ ；当 $u_i > U_s$ 时，二极管导通相当于导线， $u_o = U_s$ 。可见二极管将输出电压限制在 U_s 以下。

中，原子在空间排列成规则的晶格，所以半导体也称为晶体，这就是晶体管名称的由来。完全纯净的、晶体结构完整的半导体称为本征半导体。如图 1-1 所示，在硅或锗晶体中，每个原子都和周围的 4 个原子用共价键的形式紧密联系在一起。对于本征半导体来说，由于晶体中共价键的结合力很强，在热力学温度零度（即 $T=0\text{K}$ ，相当于 -273°C ）时，价电子的能量不足以挣脱共价键的束缚，因此，晶体中没有自由电子。所以，在 $T=0\text{K}$ 时，半导体不能导电，如同绝缘体一样。

如果温度逐渐升高，例如，在室温条件下，一些价电子获得足够的能量脱离共价键的束缚，成为带负电的自由电子，这种现象称为本征激发。当价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子时，在原来的共价键中留下一个空位，称为空穴，如图 1-2 所示。原子失去价电子后带正电，可等效地认为空穴带正电。在本征半导体中，自由电子和空穴总是成对地出现，称为电子—空穴对。

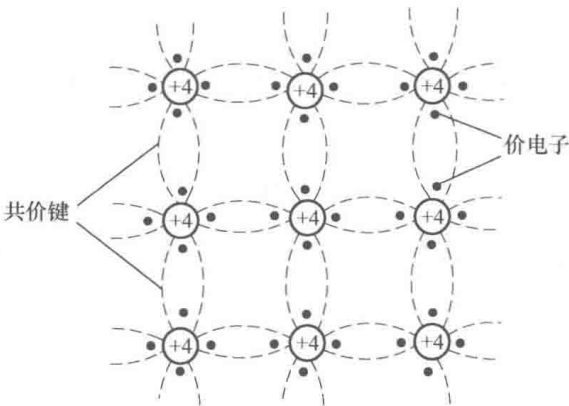


图 1-1 晶体中的共价键结构

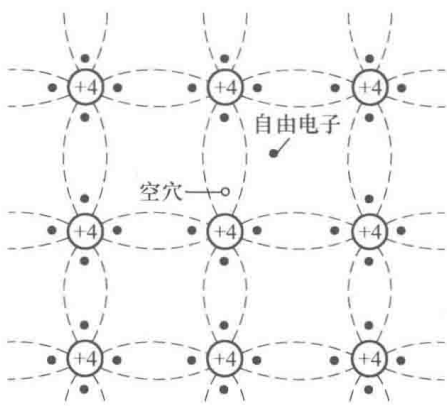


图 1-2 本征半导体中的自由电子和空穴

在外电场作用下，自由电子逆着电场定向移动，形成电子电流。带正电的空穴吸引附近的价电子来填补空位（称为复合），而在附近的共价键中留下一个新的空位，其他地方的价电子又来填补后一个空位。从效果上看，相当于带正电荷的空穴在外电场作用下，顺着电场做定向运动一样。为了与自由电子定向运动形成的电流区别开来，空穴定向运动形成的电流称为空穴电流。由此可见，半导体中存在着两种载流子：带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中，两种载流子的浓度是相等的。电子电流和空穴电流方向一致，共同形成了本征半导体的导电电流。这是半导体与导体导电的区别。

在常温下，本征半导体中自由电子和空穴的浓度很低，因此导电性很差。温度升高、光照加强，激发加剧，使自由电子和空穴的浓度增加，使本征半导体的导电能力增强，呈现出半导体的光敏、热敏特性。温度是影响半导体性能的一个重要的外部因素，这是半导体的一大特点。

1.1.3 杂质半导体

本征半导体中虽然存在两种载流子，但因载流子的浓度很低，所以导电能力很差。可利用半导体的掺杂特性，在本征半导体中掺入某些微量的杂质，使半导体的导电性提高。根据掺入杂质的不同，杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在硅或锗晶体中掺入少量的五价元素磷，晶体中的某些半导体原子被杂质取代，形成如图 1-3 所示的结构。由于杂质原子的最外层有 5 个价电子，它与周围 4 个硅原子组成共价键时多余一个电子。这个电子不受共价键的束缚，只受自身原子核的吸引，束缚力比较微弱，在室温下很容易成为自由电子，因此在这种杂质半导体中，电子的浓度将高于空穴的浓度，称为 N 型半导体。在 N 型半导体中自由电子是多数载流子（简称多子），空穴是少数载流子（简称少子）。

2. P 型半导体

如图 1-4 所示，在本征半导体中掺入三价元素（如硼、镓、铟等），杂质原子的最外层只有 3 个价电子，它与周围的原子形成共价键时，还多余一个空穴，因此空穴浓度远大于自由电子的浓度，这种杂质半导体称为 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴是多子，自由电子是少子。

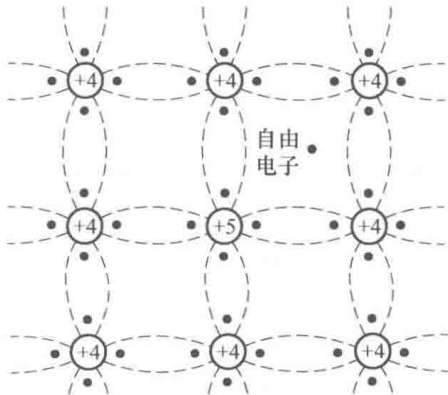


图 1-3 N 型半导体的结构

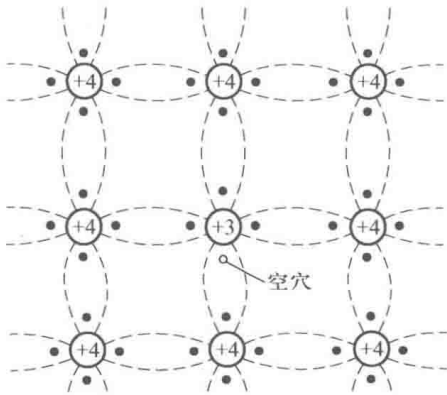


图 1-4 P 型半导体的结构

杂质半导体的简化表示法如图 1-5 所示。

在杂质半导体中，多数载流子的浓度主要取决于掺入的杂质浓度，而少数载流子的浓度主要取决于温度。在纯净的半导体中掺入杂质以后，导电性能将大大改善。当然，仅仅提高导电能力不是最终目的，因为导体的导电能力更强。杂质半导体的奇妙之处在于，掺入不同性质、不同浓度的杂质，并使 P 型半导体和 N 型半导体采用不同的方式组合，可以制造出形形色色、品种繁多、用途各异的半导体器件。

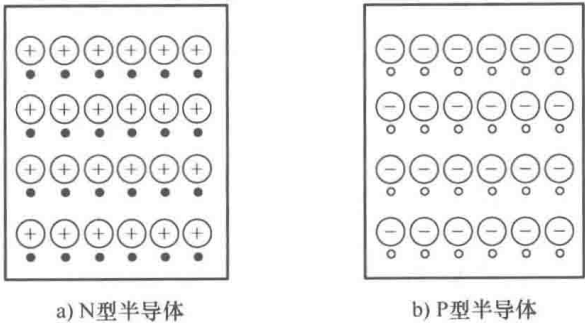


图 1-5 杂质半导体的简化表示法

1.1.4 PN 结的形成及单向导电性

1. PN 结的形成

在一块半导体基片上，两边分别形成 N 型半导体和 P 型半导体，由于两侧的电子和空穴的浓度相差很大而产生扩散运动，电子从 N 区向 P 区扩散，空穴从 P 区向 N 区扩散，如图 1-6a 所示。随着扩散运动的进行，在交界面两侧形成一个由不能移动的正、负离子组成的空间电荷区，即在交界面产生了一个由 N 区指向 P 区的电场，这个电场称为内电场，也称为耗尽层或 PN 结。

内电场将阻止多数载流子继续进行扩散，却有利于少数载流子的运动，即有利于 P 区中的电子向 N 区运动，N 区中的空穴向 P 区运动。通常，将少数载流子在电场作用下的定向运动称为漂移运动。

扩散运动使空间电荷区的宽度增大；漂移运动使空间电荷区的宽度减小。扩散和漂移这一对相反的运动达到动态平衡时，相当于两个区之间没有电荷运动，空间电荷区的厚度固定不变，就稳定形成了如图 1-6b 所示的 PN 结。

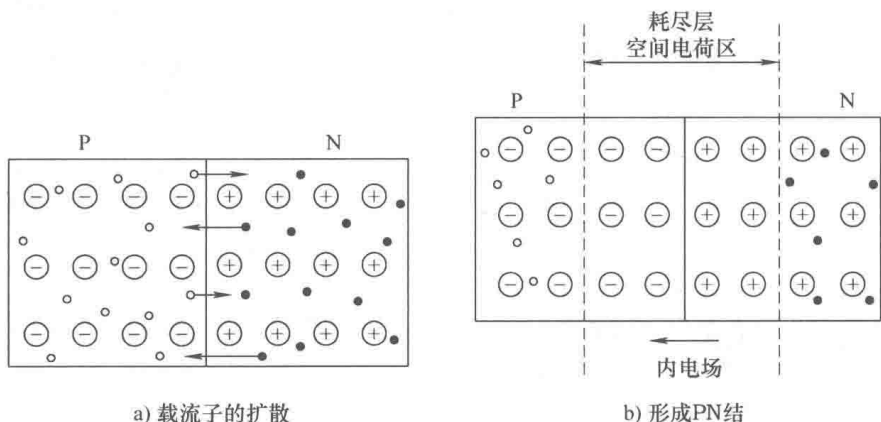


图 1-6 PN 结的形成

2. PN 结的单向导电性

如图 1-7 所示，在 PN 结上外加一个电源，电源的正极接 P 区，负极接 N 区，这种接法称为 PN 结加上正向电压或正向偏置（简称正偏）。

PN 结正向偏置时，外加电场与 PN 结内电场方向相反，削弱内电场的作用。因此，空间电荷区变窄，扩散大于漂移形成一个较大的正向电流 I ，其方向是从 P 区流向 N 区，如图 1-7 所示。此时，PN 结呈现为低电阻，称为正向导通。正向压降很小且随温度上升而减小。

如图 1-8 所示，在 PN 结上外加电源的正极

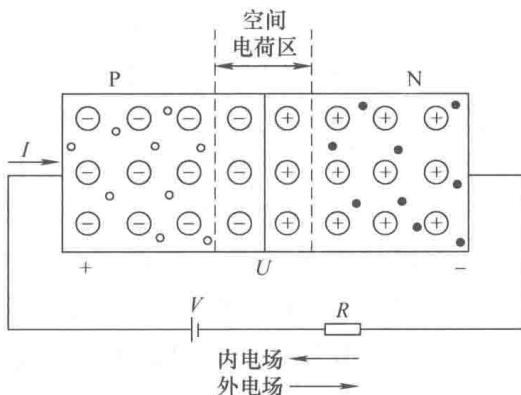


图 1-7 PN 结正向导通

接 N 区，负极接 P 区，这种接法称为 PN 结加上反向电压或反向偏置（简称反偏）。这时，外加电场的方向与 PN 结内电场方向相同，内电场被加强，空间电荷区变宽，多数载流子的扩散受抑制，少数载流子的漂移加强，漂移电流将超过扩散电流，于是在回路中形成一个基本上由少数载流子运动产生的反向电流 I ，但少子的浓度很低，所以反向电流的数值非常小，PN 结呈高电阻状态，称为反向截止。在一定温度下，当外加反向电压超过某个值（为零点几伏）

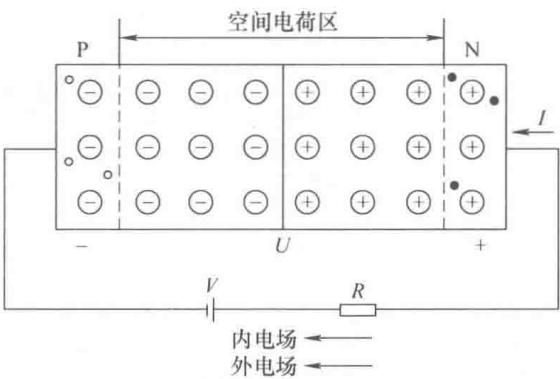


图 1-8 PN 结反向截止

后，反向电流将不再随着外加反向电压的增加而增大，所以又称为反向饱和电流，通常用符号 I_s 表示。反向饱和电流是由少子产生的，对温度十分敏感， I_s 将随着温度的升高而急剧增大。

综上所述，当 PN 结正向偏置时，PN 结处于导通状态，有较大的正向电流流过；当 PN 结反向偏置时，回路中的反向电流非常小（几乎等于零），PN 结处于截止状态。可见，PN 结具有单向导电性。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构

在 PN 结上加上引线和封装就成为一个二极管。图 1-9 给出了一些常见的二极管的外形与符号，其中阳极从 P 区引出，用字母 a 表示，阴极从 N 区引出，用字母 k 表示。

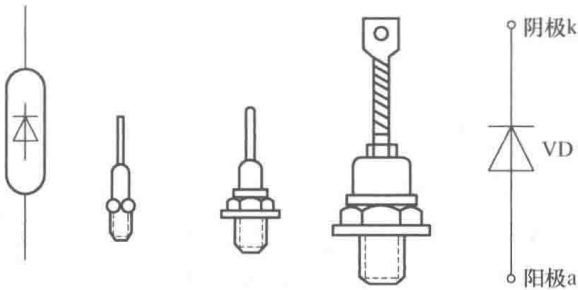


图 1-9 半导体二极管的外形与符号

二极管按材料不同可分为硅管和锗管，按结构可分为点接触型、面接触型和硅平面型三种，如图 1-10 所示。点接触型二极管的 PN 结面积小，结电容小，常用于检波和变频等高频电路。面接触二极管结面积大，因而能通过较大的电流，但结电容也大，只能工作在较低频率下，可用于整流。对于硅平面型二极管，结面积大的，可通过较大的电流，适用于大功率整流；结面积小的，结电容小，适用于在脉冲数字电路中作开关管。

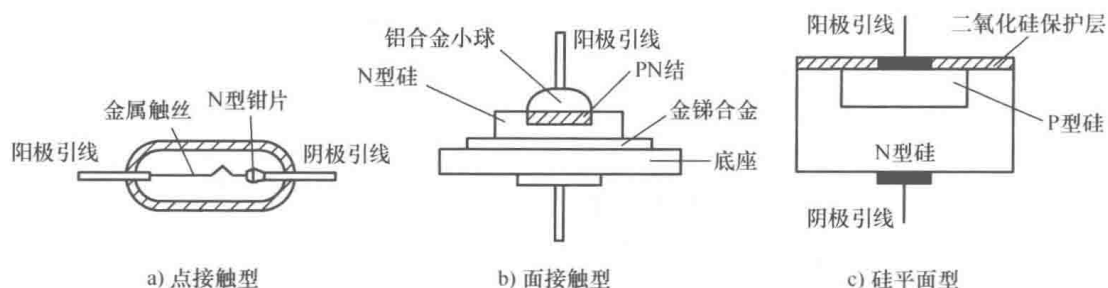


图 1-10 半导体二极管的结构

1.2.2 二极管的伏安特性

如图 1-11 所示, 二极管的伏安特性是指流过二极管的电流 i_D 和其两端的电压 u_D 之间的曲线关系。

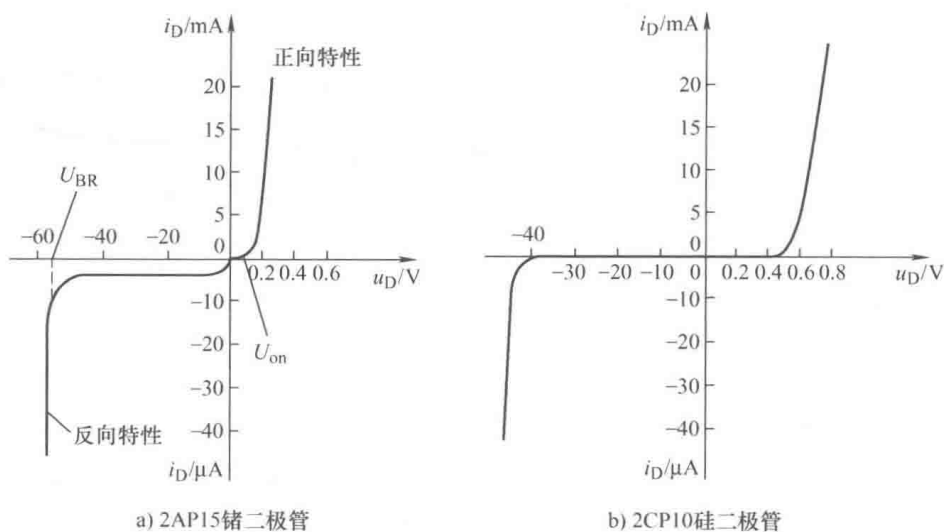


图 1-11 二极管的伏安特性

1. 正向特性

加在二极管的正向电压很小时, 正向电流很小, 几乎等于零。只有当正向电压高于某一值后, 正向电流才明显地增大, 该电压称为死区电压, 又称为门限电压或导通电压, 用 U_{on} 表示, 其大小与材料、环境温度有关。在室温下, 硅管的 U_{on} 约为 $0.5V$, 锗管的 U_{on} 约为 $0.1V$ 。

当正向电压超过死区电压以后, PN 结内电场被大大削弱, 电流急剧增加, 二极管正向导通。此时, 二极管电阻及压降均很小, 一般硅管的正向压降为 $0.6 \sim 0.8V$ (通常取 $0.7V$), 锗管为 $0.2 \sim 0.3V$ (通常取 $0.2V$)。

2. 反向特性

二极管加反向电压, 反向电流数值很小且基本不变, 为反向饱和电流 I_s 。当反向电压超过 U_{BR} 时, 反向电流急剧增加, 产生击穿。 U_{BR} 称为反向击穿电压。二极管击穿以后, 不再具有单向导电性, 便失效了。

1.2.3 二极管的主要参数

描述器件的物理量，称为器件的参数。它是器件特性的定量描述，也是选择器件的依据。各种器件的参数可由手册查得。二极管的主要参数有下面几个。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流 I_F 是指二极管长期使用时，允许流过二极管的最大正向平均电流。实际应用时的工作电流必须小于 I_F ，否则会过热而烧毁。此值取决于 PN 结的面积、材料和散热情况。

2. 最高反向工作电压 U_R

最高反向工作电压 U_R 是指管子运行时允许承受的最高反向电压。当反向电压超过此值时，二极管可能被击穿。为了留有余地，通常取击穿电压的一半作为 U_R 。

3. 反向电流 I_R

反向电流 I_R 是指一定的温度条件下，二极管加反向峰值工作电压时流过管子的反向饱和电流。反向电流越小，说明管子的单向导电性越好。反向电流受温度的影响，温度越高反向电流越大。硅管的反向电流较小，一般在几微安以下，锗管的反向电流要比硅管大几十到几百倍。

1.2.4 二极管的应用

二极管主要利用它的单向导电性，应用于整流、限幅、保护等场合。在应用电路中，关键是判断二极管的导通或截止。判断时可先写出二极管的阴、阳极电压，若承受正向电压则二极管导通，导通时一般用电压源 $U_D = 0.7V$ （锗管用 $0.2V$ ）代替，或当成理想二极管（近似用短路线代替）；若承受反向电压则截止，截止时二极管断开，即认为二极管反向电阻为无穷大。

1. 二极管用于整流

将交流电变成直流电的过程叫作整流。如图 1-12 所示，输入电压为正弦交流电压。在输入电压的正半周， $u_i > 0$ ，二极管正向导通，用短路线代替，输出电压 $u_o = u_i$ ；在输入电压的负半周， $u_i < 0$ ，二极管反向截止，二极管断开，输出电压 $u_o = 0$ 。

2. 二极管用于限幅

由二极管组成的限幅电路如图 1-13a 所示，其波形图如图 1-13b 所示。输入电压为正弦交流电压 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，直流电源电压 $U_S < U_m$ 。二极管阳极电压为 u_i ，阴极电压为 U_S 。当 $u_i < U_S$ 时，二极管承受反向电压截止， $u_o = u_i$ ；当 $u_i > U_S$ 时，二极管导通相当于导线， $u_o = U_S$ 。可见二极管将输出电压限制在 U_S 以下。