

计算机电路基础

陶 洪 主编



21世纪高职高专计算机科学与应用专业系列教材



21 世纪高职高专计算机科学与技术应用专业系列教材

计算机电路基础

陶 洪 主编



机械工业出版社

计算机电路基础是高等职业技术学院计算机专业及计算机相关专业的
一门重要专业基础课。本教材是作者在从事多年的计算机硬件产品开发和
课程教学基础上, 结合高职教育“理论够用, 实践为重”的特点编写而成
的。

全书共分 11 章, 全面介绍了计算机电路中所涉及的模拟电路、数字电
路的基本知识及应用。内容包括半导体器件、放大电路、直流稳压电路、
数字逻辑基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路及计算机中常用
外围设备的电路。通过这些内容的学习, 可使学生掌握计算机电路的基本
原理、简单分析和简单设计。

本书可作为高等职业技术学院计算机专业及计算机相关专业学生的教
材, 也可作为教师、工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机电路基础/陶洪主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.1

(21 世纪高职高专计算机科学与技术专业系列教材)

ISBN 7-111-13446-X

I. 计... II. 陶... III. 电子计算机—电子电路—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TP331

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 106554 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: 胡毓坚

责任编辑: 周艳娟

责任印制: 闫 焱

北京中加印刷有限公司印刷 • 新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版 • 第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 • 14.75 印张 • 365 千字

0001—5000 册

定价: 21.00 元

凡购本图书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高职高专计算机 科学与应用专业教材编委会名单

主 任 周智文

副主任 周岳山 詹红军 林 东 王协瑞 李传义
赵佩华 陈付贵 吕何新 朱连庆 陶书中

委 员 刘瑞新 鲁 辉 王德年 马 伟 于恩普
谢 川 姜国忠 汪赵强 龚小勇 马林艺
王 泰 睦碧霞 陶 洪 余先锋 陈丽敏
翟社平 赵增敏 王养森 赵国玲 卫振林
顾 伟

总策划 胡毓坚

出版说明

新世纪对高职高专教育提出了新的目标和要求, 高职高专教育面临新一轮的改革和发展。为了进一步推进高职高专的教育改革, 培养 21 世纪与我国现代化建设相适应的, 具有较宽厚的文化基础底蕴, 并能在生产、管理、服务岗位第一线工作的技术应用型人才。机械工业出版社与高职高专计算机科学与技术专业教材编委会联合组织了全国近百所院校的一线骨干教师, 在交流、研讨的基础上, 根据国家教育部的精神, 以及高职高专教学改革的新思路编写了这套“21 世纪高职高专计算机科学与技术专业系列教材”。目前已出版了两轮, 近 30 种教材。随着教改的深入, 新技术的出现, 新一轮的高职高专教材将陆续出版。

这套教材是在明确了高职高专学生培养的目标的基础上, 强化对学生实践能力和创新意识培养的指导思想下, 应用现代高等职业技术教育的理念、方法和手段编写而成的。新的教材是将高职高专院校教学改革力度比较大, 内容新颖, 注重能力, 体现创新的教材; 或是将各院校急需使用, 适合社会经济发展新课题的教材列入选题规划, 进行修编或新编。力求体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。新教材是由个人申报, 经各院校推荐, 编委会会同专家评选, 出版社立项出版的。

望各高职高专院校积极选用本套系列教材, 及时提出修改意见, 不断提高教材的编写质量。

高职高专计算机科学与技术专业教材编委会
机械工业出版社

前 言

计算机电路基础是高等职业技术学院计算机专业及计算机相关专业的一门重要专业基础课。本教材是作者在从事多年的计算机硬件产品开发和课程教学基础上,结合高职教育“理论够用,实践为重”的特点编写而成的。是高等职业技术学院计算机类专业较好的教学用书,也是教师、工程技术人员的实用参考书。

本教材参考教学时数为 90 学时,其中实验 20 学时。全书共分 11 章。第 1 章半导体器件,简要介绍了计算机电路基础知识,着重介绍了半导体二极管、晶体三极管、场效应晶体管等常用半导体器件;第 2 章放大电路,在介绍基本放大电路的基础上,重点介绍了应用较为广泛的运算放大器;第 3 章直流稳压电路,首先介绍了直流稳压电路的基本原理,然后重点介绍了计算机中所采用的开关电源;第 4 章数字逻辑基础,介绍了数字电路的常用数制、码制和专用于逻辑分析的逻辑代数;第 5 章逻辑门电路,按照定性分析为主、定量分析为辅的原则,对常用门电路作了较为详细的介绍;第 6 章组合逻辑电路,在介绍组合逻辑电路的分析、设计方法的基础上,重点介绍了集成组合逻辑电路的应用;第 7 章触发器,介绍不同类型触发器的基本工作原理;第 8 章时序逻辑电路,在介绍时序逻辑电路的分析、设计方法的基础上,重点介绍了计算机中常用的计数器、寄存器等时序电路部件和集成时序逻辑电路的应用;第 9 章脉冲信号的产生与变换;第 10 章 D/A 与 A/D 转换器;第 11 章可编程逻辑器件,在介绍了可编程逻辑器件基本原理的基础上,重点介绍的存储器的原理和应用。

本教材由陶洪主编,第 1、2 章由何丽丽编写,第 3、4 章由张晓婷编写,第 5、6 章由费小平编写,第 7、8、9、10、11 章由陶洪编写。

由于作者水平有限和编写时间较仓促,书中错误或不妥之处在所难免,诚请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 半导体器件 1

1.1 计算机电路概述 1

1.1.1 半导体的基本知识 1

1.1.2 PN 结 4

1.2 半导体二极管 5

1.2.1 半导体二极管的结构与类型 5

1.2.2 半导体二极管的伏安特性 6

1.2.3 半导体二极管的主要参数 6

1.2.4 半导体二极管电路应用举例 7

1.2.5 特殊二极管 8

1.3 半导体三极管 10

1.3.1 半导体三极管的基本结构 10

1.3.2 半导体三极管的连接方法 11

1.3.3 半导体三极管的电流分配和放大作用 12

1.3.4 半导体三极管的特性曲线 13

1.3.5 半导体三极管的主要参数 14

1.4 场效应晶体管 15

1.4.1 结型场效应晶体管的结构和工作原理 15

1.4.2 结型场效应晶体管的特性曲线 17

1.4.3 结型场效应晶体管的主要参数 18

1.4.4 绝缘栅场效应晶体管 19

1.5 小结 22

1.6 习题 22

第 2 章 放大电路 25

2.1 基本放大电路 25

2.1.1 基本放大电路的组成 25

2.1.2 共射极放大电路 26

2.1.3 共集电极放大电路 35

2.1.4 共基极放大电路 37

2.1.5 场效应晶体管放大电路 39

2.2 多级放大电路 40

2.2.1 多级放大电路的极间耦合方式 41

2.2.2 多级放大电路的性能分析 41

2.3 集成运算放大器 42

2.3.1 集成运算放大器的结构和特性 42

2.3.2 集成运算放大器的应用 45

2.4 小结 51

2.5 习题 51

第 3 章 直流稳压电路 55

3.1 概述 55

3.2 单相整流电路 55

3.2.1 单相半波整流电路 56

3.2.2 单相全波整流电路 57

3.2.3 单相桥式整流电路 57

3.3 基本滤波电路 59

3.3.1 电容滤波电路 59

3.3.2 RC 滤波电路 60

3.3.3 LC 滤波电路 61

3.4 稳压电路 61

3.4.1 稳压电路的主要指标 61

3.4.2 并联稳压电路 62

3.4.3 串联稳压电路 63

3.5 集成稳压器和稳压电路 64

3.5.1 集成稳压器 64

3.5.2 开关稳压电路 66

3.6 计算机电源 68

3.7 小结 69

3.8 习题 69

第 4 章 数字逻辑基础 70

4.1 数制与码制 70

4.1.1 数制 70

4.1.2 码制 74

4.2 逻辑代数基础 76

4.2.1 逻辑变量与逻辑函数 76

4.2.2 真值表	77	6.6 习题	151
4.2.3 基本逻辑运算	78	第7章 触发器	154
4.2.4 逻辑运算基本公式	81	7.1 触发器的性质与分类	154
4.3 逻辑函数的化简方法	81	7.1.1 触发器的基本性质	154
4.3.1 公式化简法	82	7.1.2 基本触发器	154
4.3.2 卡诺图化简法	84	7.1.3 触发器的分类	156
4.4 小结	92	7.2 同步式时钟触发器	156
4.5 习题	92	7.2.1 术语和符号	157
第5章 逻辑门电路	95	7.2.2 SR 触发器	157
5.1 概述	95	7.2.3 D 触发器	158
5.2 基本逻辑门电路	95	7.2.4 JK 触发器	159
5.2.1 与门	96	7.2.5 T 触发器	160
5.2.2 或门	96	7.2.6 T 功能触发器	160
5.2.3 非门	97	7.2.7 同步时钟触发器的缺陷	160
5.3 TTL 门电路	98	7.3 时钟触发器的其他形式	161
5.3.1 TTL 与非门	98	7.3.1 维持阻塞型触发器	161
5.3.2 其他功能的 TTL 门电路	102	7.3.2 边沿 JK 触发器	161
5.3.3 两种特殊的 TTL 门电路	104	7.3.3 主从触发器	161
5.4 MOS 门电路	110	7.3.4 触发器的逻辑符号	162
5.4.1 NMOS 反相器及逻辑门	110	7.3.5 触发器类型的转换	163
5.4.2 PMOS 反相器及逻辑门	115	7.4 集成时钟触发器	164
5.4.3 CMOS 反相器及逻辑门	116	7.4.1 时钟触发器的直接置位和 直接复位	164
5.5 小结	123	7.4.2 7474 双 D 触发器	164
5.6 习题	124	7.4.3 74112 双 JK 触发器	164
第6章 组合逻辑电路	127	7.5 小结	165
6.1 概述	127	7.6 习题	165
6.2 组合逻辑电路的分析和设计方法	128	第8章 时序逻辑电路	167
6.2.1 组合逻辑电路的分析	128	8.1 概述	167
6.2.2 组合逻辑电路的设计	129	8.1.1 时序电路	167
6.3 常用组合逻辑电路	133	8.1.2 描述时序电路的常用方法	168
6.3.1 加法器	133	8.2 时序电路的分析	168
6.3.2 数字比较器	134	8.2.1 时序电路分析的一般步骤	168
6.3.3 编码器	136	8.2.2 同步时序电路分析举例	169
6.3.4 译码器	138	8.2.3 异步时序电路分析举例	172
6.3.5 数据选择器	144	8.3 时序电路的设计	173
6.4 用中规模集成电路设计组合逻辑电路	148	8.3.1 时序电路设计的原则和一般 步骤	173
6.5 小结	151	8.3.2 时序电路设计举例	175

8.4 若干常用时序电路	181	第 11 章 可编程逻辑器件	206
8.4.1 计数器	181	11.1 概述	206
8.4.2 寄存器和移位寄存器	184	11.2 可编程逻辑器件	207
8.5 集成时序电路	188	11.2.1 可编程逻辑器件组成原理	207
8.5.1 四位双稳态锁存器 7477	188	11.2.2 可编程逻辑器件的表示	207
8.5.2 带公共时钟和复位的六位 寄存器 74174	188	11.2.3 可编程器件的输出结构	208
8.5.3 同步集成计数器 74161	189	11.2.4 可编程阵列逻辑 PAL	209
8.5.4 四位双向通用移位 寄存器 74194	193	11.2.5 通用可编程逻辑阵列 GAL	209
8.6 小结	195	11.2.6 可编程器件应用	210
8.7 习题	195	11.3 只读存储器	212
第 9 章 脉冲信号的产生与变换	197	11.3.1 ROM 的工作原理	212
9.1 多谐振荡器	197	11.3.2 只读存储器分类	214
9.1.1 用 TTL 门电路构成的环型 多谐振荡器	197	11.3.3 只读存储器的简单应用	215
9.1.2 石英晶体多谐振荡器	198	11.4 随机存取存储器	217
9.2 单稳态触发器	198	11.4.1 静态随机存储器	217
9.2.1 不可重触发单稳态 触发器 74121	199	11.4.2 动态随机存储器	218
9.2.2 可重触发单稳态 触发器 74122	199	11.5 小结	219
9.2.3 单稳态触发器的应用	200	11.6 习题	219
9.3 施密特触发器	201	附录 实验	220
9.3.1 施密特触发器的特点	201	实验 1 单管放大电路	220
9.3.2 施密特触发器的应用	202	实验 2 集成运算放大器	222
9.4 小结	202	实验 3 集成逻辑门的测试与 应用	225
9.5 习题	202	实验 4 组合逻辑电路设计	225
第 10 章 数模与模数转换器	203	实验 5 全加器、比较器综合 实验	225
10.1 概述	203	实验 6 译码器与数据选择器 应用	226
10.2 D/A 转换器	203	实验 7 集成触发器应用	227
10.3 A/D 转换器	204	实验 8 集成计数器	227
10.4 小结	205	实验 9 集成移位寄存器	227
10.5 习题	205	实验 10 计数器-译码器-显示器 综合实验	228

第1章 半导体器件

本章是入门篇，先介绍半导体的基本知识，接着讨论二极管、三极管、场效应晶体管等半导体器件的结构、性能、参数和选用方法。着重说明其基本原理和由它们组成的基本电路的分析方法。

本章要点：

- 半导体二极管
- 半导体三极管
- 场效应晶体管

1.1 计算机电路概述

计算机电路是由半导体器件和半导体器件构成的集成电路所组成，因此，要学好计算机电路首先必须了解半导体器件的原理，掌握半导体器件的应用。

1.1.1 半导体的基本知识

半导体器件由于其重量轻，使用寿命长，输入功率小和功率转换效率高而得到广泛应用，成为各种电子电路的重要组成部分。随着半导体材料技术的迅速发展，有力地促进了大规模和超大规模集成电路的发展，使得各种工业自动化设备和电子设备在微型化和可靠性等方面取得了重大进步。

1. 半导体的导电特征

自然界中不同的物质，由于其原子结构不同，它们的导电能力也各不相同。根据导电能力的强弱，可以把物质分成导体、半导体和绝缘体。我们知道，金属导体之所以容易导电，是由于它的内部存在大量的自由电子。而半导体与它不同，它的导电形式主要有两种：电子导电和空穴导电。

现代电子产品中，常用的半导体材料是硅（Si）和锗（Ge），其导电性能介于导体和绝缘体之间。

人们为了有效地利用半导体，通常先制成单晶硅、锗，即完全纯净的半导体，称为“本征半导体”。它们都是4价元素，其原子是有规律地排列起来的，最外层原子轨道上的电子（价电子）数均为4个，而且极易与相邻原子的价电子形成共价键，如图1-1所示。

在共价键的束缚下，其原子的最外层电子不像金属那样容易挣脱出来成为自由电子。在外界条件为热力学零度和无外界激发时，这些价电子不能自由移动，此时半导体不能导电，相当于绝缘体。但共价键中的价电子还是不如绝缘体中的价电子被束缚得那样紧，在受到热和光的激发时，少数价电子获得能量挣脱束缚而成为自由电子。温度越高，晶体中产生的自由电子越多。显然，这些自由电子是能够参与导电的。另外，由于原来共价键的位置上少了一个束缚电子，留下一个空位，称其为“空穴”。一般情况下，原子本来是中

性的，当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，原子的中性便被破坏，中性的原子因失去了一个电子而带正电，同时形成了一个空穴，故也可以认为空穴是带正电的。而形成的空穴又可能被相邻原子中的价电子填补，同时在这个相邻原子中出现另一个空穴。如此继续下去，就如同空穴在做定向运动。打个通俗的比喻，好比大家坐在剧场里看节目，如果前面座位走了一位观众，出现一个空位，后面的人就会依次递补空位向前就坐，这样座位上的人依次向前了，而空位子却从前面移到了后面。显然，这种空位的移动同没有座位的人到处走动不一样，后者好比自由电子的运动，而前者则好比空穴的运动。这种由热运动形成的自由电子和空穴是成对出现的。自由电子在运动的过程中由于失去能量可能被具有空穴的原子俘获，也就是说在晶体内部，这种自由电子空穴对在不断地出现又在不断地复合，这种出现和复合在一定的外界条件下将达到动态平衡。晶体内部自由电子空穴对的数量多少取决于外界条件，外界温度越高光照越强，晶体内部的自由电子空穴对的数量就越多。

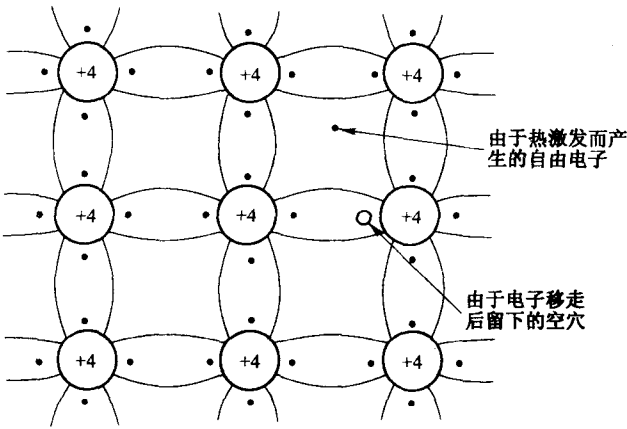


图 1-1 电子、空穴对的产生

当在半导体两端加上外电压时，半导体中的自由电子和空穴都将定向移动，它们的定向移动在晶体内部将出现两种类型的电流：一种是自由电子作定向运动所形成的电子电流；第二种是价电子递补空穴运动所形成的空穴电流。所以，在半导体中，不仅有电子载流子，还有空穴载流子，这是半导体导电的一个重要特性，也是半导体和金属导体在导电机理上的本质区别。由上述分析可知，外界温度光照变化将影响半导体内部载流子的数量，因此，温度越高、光照越强，半导体的导电能力就越强。

在常温下，本征半导体中虽然存在着电子、空穴载流子，但数目很少，这就是其导电率低于金属的原因。

2. P 型半导体和 N 型半导体

在本征半导体中有控制、有选择地掺入微量的其他元素，我们称之为“杂质半导体”。虽然所掺杂质的数量只不过是沧海一粟，但它却可使半导体的导电能力成百万倍地增加。根据掺入杂质元素的不同，杂质半导体又可分为 P 型（也叫“空穴型”）半导体和 N 型（也叫“电子型”）半导体两大类。

在硅（或锗）晶体内掺入微量的 3 价元素杂质，如硼（或镓）等，就成为 P 型半导体。

在 P 型半导体中，杂质原子的 3 个价电子与周围的 4 个硅原子形成共价键时，留有一个空位，相邻硅原子的价电子受到常温的热激发或其他激发而获得能量时，就很容易脱离原子核的束缚并跑过来填补这个空位，这就在该硅原子处产生了一个空穴，而且未产生新的自由电子，并且使杂质原子变成带负电的离子，如图 1-2 所示。

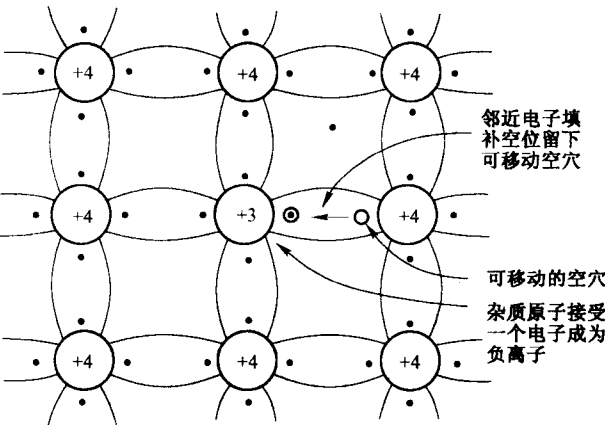


图 1-2 P 型半导体共价键结构

考虑到原来本征半导体中产生的少量的电子—空穴对，P 型半导体中的空穴数就会远大于自由电子数。控制掺入杂质的多少，可以控制空穴的数量。这种半导体以空穴导电为主，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”）。

仿效 P 型半导体的讨论可知，在硅（或锗）晶体内掺入微量的 5 价元素杂质，如磷（或锑）等，就成为 N 型半导体。杂质元素的 5 个价电子中有 4 个与周围硅原子的 4 个价电子形成共价键。多余的一个价电子，在常温下就可以摆脱杂质原子核的微弱束缚而成为自由电子。杂质原子则变成不能够移动的正离子，如图 1-3 所示。在 N 型半导体中，电子数远大于空穴数目，导电主要靠自由电子，因而对 N 型半导体而言，自由电子是多子，空穴则为少子。

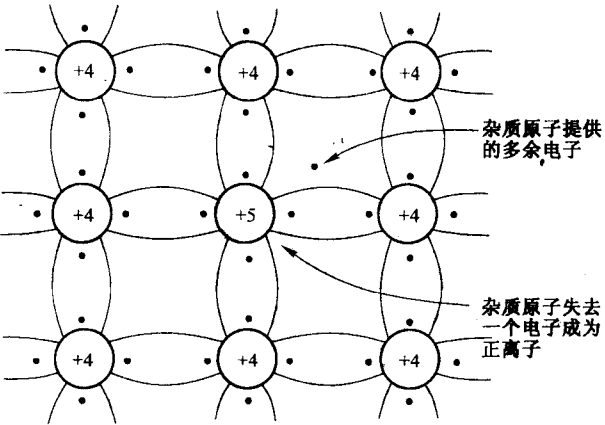


图 1-3 N 型半导体共价键结构

1.1.2 PN 结

单纯的一个 P 型或 N 型半导体，在电路中的作用仅相当于一个电阻。但若在同一块本征半导体中，根据不同的掺杂工艺，使之一部分为 P 型，另一部分为 N 型，则由于 N 型区内电子为多子，P 型区内空穴为多子，这样，电子和空穴都要从浓度高的地方向浓度低的地方扩散，于是交界面 N 区一侧因失去电子而留下了一些不能自由移动的带正电的杂质离子，P 区一侧因失去空穴而留下了一些带负电的杂质离子。这些不能移动的带正电或负电的离子通常称为“空间电荷”，它们集中在 P 区和 N 区交界面附近，形成了一个很薄的空间电荷区，称之为“PN 结”。这样，空间电荷区构成一个由 N 区指向 P 区的内电场（也称结电场）。PN 结的形成及其结电场方向参见图 1-4。PN 结是半导体二极管的基本结构，也是其他半导体器件的基本组成部分。

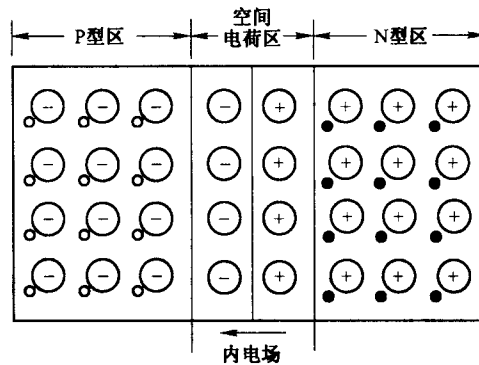


图 1-4 PN 结的形成

因为 N 区的电子带负电，P 区的空穴带正电，PN 结的结电场对电子、空穴的继续扩散是起阻挡作用的，稳定时，扩散的作用与阻挡的作用处于相对平衡的状态。

如果在 PN 结两端外加电压 U_F ，并让 P 区接电源正极，N 区接电源负极，如图 1-5 所示，称为正向连接，又叫正向偏置（正偏）。此时，外电场与 PN 结内电场方向相反，削弱了内电场，也就是削弱了阻挡作用，使 PN 结变窄（从原来未加电压时的 11' 线变到 22' 线），从而使扩散占了优势，多数载流子顺利越过 PN 结，导致外电路上形成一个较大电流 I_F ，称为正向电流。也就是说 PN 结的正向电阻很小。

如果在 PN 结两端外加的电压 U_F 为反向偏置，即 P 区接电源负极，N 区接电源正极，如图 1-6 所示。则由于外电场与 PN 结内电场方向一致，叠加的结果是增强了阻挡作用，使 PN 结变宽（从原来未加电压时的 11' 线变到 22' 线），于是多数载流子难以越过 PN 结，仅有少数（P 区的电子和 N 区的空穴）可以在外电场的作用下越过 PN 结，在外电路上只形成一个微弱电流 I_R ，称为反向饱和电流。由于少数数目有限，在反向电压不是很大时，反向饱和电流通常很小，也就是说 PN 结的反向电阻很大。

综上所述，PN 结就好像一个特殊的阀门一样，加正向电压时，其电阻很小，电流几乎可以畅通无阻；而加反向电压时，其电阻很大，电流就很难通过。可见，PN 结只允许电流单方向通过。也就是说，PN 结具有单向导电性。

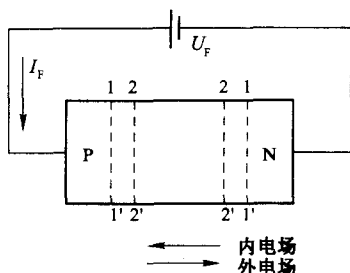


图 1-5 在 PN 结上加正向电压

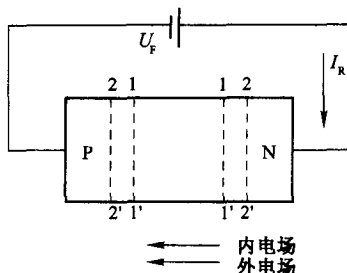


图 1-6 在 PN 结上加反向电压

1.2 半导体二极管

1.2.1 半导体二极管的结构与类型

半导体二极管实际上就是一个以 PN 结为基础制成的器件。不言而喻，它具有单向导电性，常用于整流、滤波。

二极管的种类很多，按制造材料的不同，可分为硅二极管和锗二极管；按用途的不同，可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管和普通二极管；按其内部结构的不同，又可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管的结构如图 1-7a 所示。它是由一根很细的金属丝（如三价元素铝）与一块 N 型锗晶片的表面相接触，然后从正方向施加很大的瞬时电流，使触丝与锗晶片牢固地熔接在一起而构成 PN 结，接出相应的电极引线，并以外壳封装而成。与金属丝接在一起的引出线为二极管的阳极，从晶片支架引出的线为阴极。

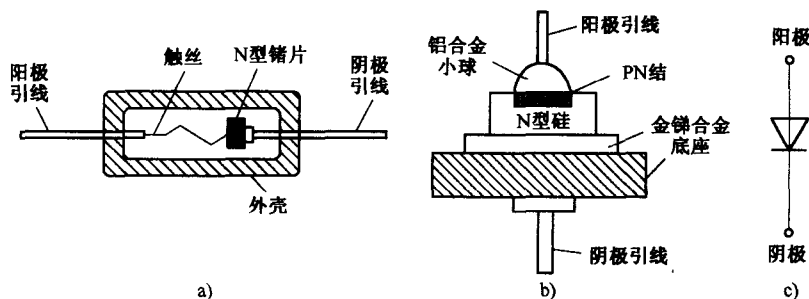


图 1-7 半导体二极管的结构及符号

a) 点接触型 b) 面接触型 c) 符号

点接触型二极管由于其金属丝很细，形成的 PN 结面积很小，所以极间电容很小，适宜于高频下工作，但它不能承受高的反向电压和大的电流。因此，这类二极管常用作高频检波和脉冲数字电路里的开关元件，也可用来作小电流整流。市面上的 2AP1~10 系列二极管均属点接触型二极管。

面接触型二极管的结构如图 1-7b 所示。其 PN 结是用合金法或扩散法做成的，其特点是 PN 结面积大，可承受较大的电流。但极间电容也大，因而不宜用于高频场合，常用作频率在 3kHz 以下信号的整流。市面上的 2CP 系列二极管均属面接触型二极管。

二极管的符号如图 1-7c 所示, P 区一侧为阳极, N 区一侧为阴极。

1.2.2 半导体二极管的伏安特性

二极管实质上就是一个 PN 结, 在其两端分别加上正反向电压, 并逐点测量流过其中的电流, 就可以描绘出反映二极管两端电压和流过其中的电流之间关系的伏安特性曲线。曲线形状如图 1-8 所示, 读图时要注意图中正反向电压、电流的单位是不同的。分析曲线可以看出如下特点:

(1) 正向电压较小时, 外电场还不足以克服 PN 结的内电场, 因而正向电流很小, 几乎为零。只有在外加正向电压超过一定数值后, 才有明显的电流, 这个正向电压通常被称为“门坎电压”(也称为“死区电压”), 其大小与材料及环境温度有关。一般说来, 硅管的门坎电压约为 0.7V , 锗管约为 0.3V 。当正向电压超过门坎电压后, 正向电流随外加电压增加迅速增大, 二极管处于导通状态, 曲线如图 1-8 中的 A 段。正向导通后, 硅二极管压降约为 $0.6\sim 0.8\text{V}$ (一般取 0.7V), 锗二极管压降约为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ (一般取 0.3V)。

(2) 在反向电压作用下, 少数载流子很容易通过 PN 结, 形成反向饱和电流。但由于少数载流子数目很少, 所以反向电流也很小, 在室温下锗管约十几微安, 硅管则小于 $0.1\mu\text{A}$ 。二极管处于截止状态, 曲线如图 1-8 中的 B 段。

(3) 当反向电压增加到一定数值时, 反向电流急剧增大, 这种现象称为二极管的反向击穿, 如图 1-8 中的 C 段。击穿时的电压称为“反向击穿电压”。普通二极管不允许在击穿状态下工作。

(4) 当温度升高时, 上述曲线将发生变化, 其变化趋势是正向特性曲线左移, 反向特性曲线下移, 如图 1-9 所示。这是由于温度升高会激发出更多的载流子的缘故。由此可见, 在任何电压下, 通过二极管的电流都要随温度的升高而增大。不过, 温度对反向特性的影响更为明显, 这是因为反向导电是由热激发的少数载流子作定向运动而形成的。

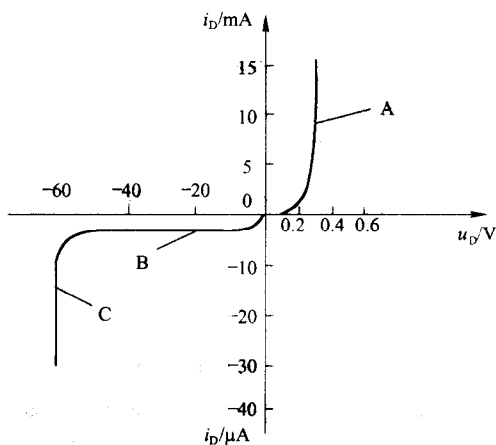


图 1-8 锗二极管 2AP15 的伏安特性

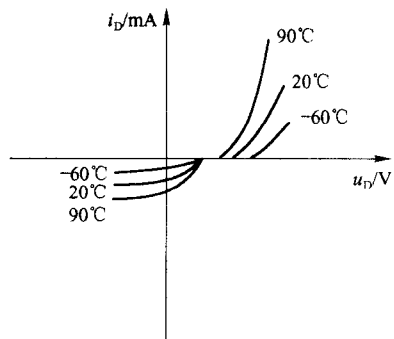


图 1-9 温度对二极管伏安特性的影响

1.2.3 半导体二极管的主要参数

二极管的特性除了用伏安特性曲线表示外, 还可用一套参数来描述。在工程上必须根据

二极管的参数,合理地选择和使用管子,才能充分发挥每个管子的作用。

(1) 最大整流电流 I_F

这是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结要引起管子发热,电流太大,发热量超过限度,就会使 PN 结烧坏。所以在选用二极管时,应注意其通过的实际工作电流不要超过此值,并要满足其散热条件,否则会烧坏二极管。

(2) 最高反向工作电压 U_R

这是指二极管在工作时允许承受的最高反向电压,为确保二极管长期运行的安全,通常给出的值为反向击穿电压的一半。

(3) 最大反向电流 I_R

这是指在一定环境温度条件下,让二极管承受反向工作电压、尚没有反向击穿时,其反向电流的值。这个值越小,表明管子的单向导电性能越好。此值与少数浓度有关,所以受温度影响较大,经验值是温度每升高 10°C ,反向电流约增大一倍。使用要注意温度的影响。

以上所列出的只是二极管的一些主要参数,还有一些参数必要时可查阅手册。它们都是正确使用和合理选择器件的依据。使用时,要特别注意不要超过 I_F 和 U_R 的值,否则管子容易损坏。另外,由于温度对半导体性能影响较大,在温度变化大的情况下,选择二极管应当留有余地。

1.2.4 半导体二极管电路应用举例

二极管的应用范围很广,主要是利用它的单向导电性。

【例 1-1】 如图 1-10 所示电路,已知图中二极管为硅管,电源电压及电阻值如图所示,问二极管是否能导通, U_{ab} 为多少? 流过电阻的电流各为多少?

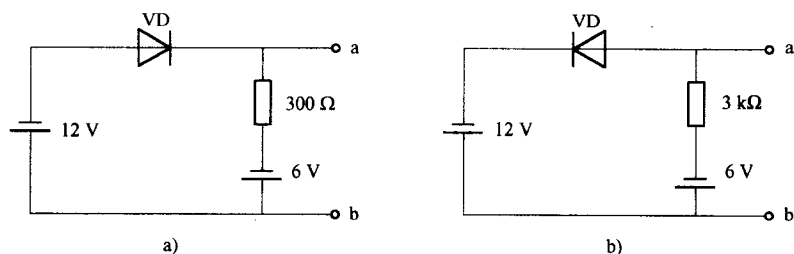


图 1-10 例 1-1 题图

解:分析时,可以先假设二极管不导通,来判断加在二极管两端的正向电压是否大于导通电压,若大于导通电压,则二极管导通,二极管两端电压等于导通电压;否则二极管截止,这时电路中无电流(反向饱和电流略去不计)。

图 a 中,假设二极管不导通后,以 b 点为参考点(即令 $V_b=0$),则二极管的正极电位为 -12V ,负极电位为 -6V ,所以二极管的正向电压为

$$[-12 - (-6)]\text{V} = -6\text{V} < 0.7\text{V}$$

所以二极管截止, $U_{ab} = -6\text{V}$,流过电阻的电流为 0A 。

图 b 中,假设二极管不导通后,以 b 点为参考点(即令 $V_b=0$),则二极管的正极电位为 -6V ,负极电位为 -12V ,所以二极管的正向电压为:

$$[-6 - (-12)]V = 6V > 0.7V$$

所以二极管导通，导通电压为 0.7V， $U_{ab} = (-12 + 0.7)V = -11.3V$ ，流过电阻的电流为：

$$I = \frac{-12 + 0.7 + 6}{3000} A = -0.0018A$$

负号表示电流方向从 b 流向 a。

【例 1-2】 在图 1-11 所示电路中，已知输入端 A 的电位 $V_A = +3.6V$ ，输入端 B 的电位 $V_B = +0.3V$ ，电阻 $R = 10k\Omega$ ，电源 $E = -9V$ ，二极管的导通电压为 0.2V，求输出端 F 的电位和流过 R 的电流 I。

解：先假设两个二极管均不导通，则由于 VD_A 两端的正向电压为 $(3.6 - (-9))V = 12.6V$ ，故 VD_A 导通，此时 F 点的电位 $V_F = (3.6 - 0.2)V = 3.4V$ 。再看 VD_B ，其两端的正向电压为 $(0.3 - 3.4)V = -3.1V$ ，故 VD_B 截止。

有人可能要问，先讨论 VD_B 如何？由于 VD_B 两端的正向电压为 $(0.3 - (-9))V = 9.3V$ ，故 VD_B 导通，此时 F 点的电位 $V_F = (0.3 - 0.2)V = 0.1V$ ；再看 VD_A ，其两端的正向电压为 $(3.6 - 0.1)V = 3.5V$ ，故 VD_A 仍导通，且 VD_A 导通后使得 F 点的电位 $V_F = (3.6 - 0.2)V = 3.4V$ ，造成 VD_B 截止。显然结论是唯一的。

当数个二极管的负极并联在一点，而加在这些二极管的正极电位各不相同且都高于负极电位时，正极电位最高的二极管导通。同理，当数个二极管的正极并联在一点，而加在这些二极管的负极电位各不相同且都低于正极电位时，负极电位最低的二极管导通。

所以， $V_F = (3.6 - 0.2)V = 3.4V$ ，流过电阻 R 的电流为 $I = \left(\frac{3.4 - (-9)}{10} \right) mA = 1.24mA$ 。

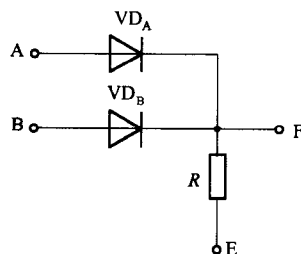


图 1-11 例 1-2 题图

1.2.5 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊面接触型半导体二极管，其结构与普通二极管没有什么不同，特殊之处在于它工作在反向击穿状态下，并且当反向电压撤除后其性能仍能恢复正常。其符号和伏安特性如图 1-12 所示。由图可知，稳压管的正向特性曲线与普通二极管相似。在反向特性曲线上，当反向电压较小时，其反向电流很小，如曲线 OA 段；而当反向电压加大到某一数值时，反向电流急剧增大，稳压管被反向击穿。进入击穿区后， Δi_Z 变化大而 Δu_Z 变化很小，如曲线 AC 段。这也就是说，在击穿区当反向电流大范围变化时，反向电压几乎不变，稳压管就是利用这一特性在电路中起稳压作用的，反向进入击穿区的电压值也就是它的稳压值。当然，这种击穿不能是破坏性的，如果反向电流太大，管子会因过热而烧毁。为此，使用稳压管时必须串接一个合适的限流电阻，以保证稳压管工作在可逆的电击穿状态而不致产生热击穿。

与一般的二极管不同，稳压二极管工作在反向偏置状态。稳压管的主要参数有：

(1) 稳定电压 U_Z

指稳压管在正常工作时管子两端的电压。电子器件手册上给出的稳定电压值是在规定的工作电流和温度下测试出来的。由于制造工艺的原因，同一型号的稳压管其稳压值有一定的