

21 世纪高等院校教材

杨建宁 主 编

电子技术



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

电 子 技 术

杨建宁 主编

成 立 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是电子技术基础课教材。全书共分 10 章,内容包括:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流电源、现代电力电子技术、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模拟量与数字量转换、大规模集成电路、电子设计自动化 EDA。书中给出了较多的典型例题和应用实例,各章后附有习题及习题解答。

本书可作为高等工科院校机械、机电、计算机、管理类等专业的大学生电子技术课程教材,也可作为成人教育相关专业教材,并可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/杨建宁主编. —北京:科学出版社,2005

(21 世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-013662-4

I. 电… II. 杨… III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 065812 号

责任编辑:马长芳 贾瑞娜 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 2 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005 年 2 月第一次印刷 印张: 31 3/4

印数: 1—4 000 字数: 627 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

非电类专业的电子技术课程是一门技术基础必修课,它和工程实践联系紧密,实用性强,在各专业领域的测量、显示、信号处理、控制过程中有着极其广泛的运用,是实现各种系统自动化、智能化的基础。本课程的任务是通过教学、实验、习题、自学等环节,使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力,培养学生实际动手技能,为后续相关专业课程的学习,及以后从事工程技术工作和科学研究,开拓新技术领域,打下坚实的基础。

根据电子技术的快速发展和教育改革的新形势,编者本着“精选内容、加强基础、培养能力、便于自学、紧密联系工程实际、反映科技发展形势”的宗旨,把教材的重点放在基本理论、方法、概念和电子器件的外部特性及其应用知识等方面,适当提高了起点,避免与物理学的内容重复。为了兼顾不同专业的需求,尽量接近工程,本书有较多的选修内容,教学时可根据各个专业的需要选用。

电子电路是本科学生初次接触到的一门工程型、技术型、实用型而非理论型的课程。该门课程的新概念多,知识点多,所涉及的基本理论、基础知识和基本方法对工科学生的工程观念培养起着重要的作用。学生在学习电子电路课程时,由于受到习惯思维的影响,不容易理解电子电路课程的工程性特点和方法,因此,本书特别注意强调电路结构和元件取值的合理性,电路的计算则用工程近似的方法,抓住主要矛盾来进行工程估算,使之既不失去设计计算的正确性和可靠性,又能使分析和设计计算简单化。以往的教材中过多的数学分析和推导既占用了大量的教学学时,又有可能分散学生的注意力,掩盖了物理概念。本书借鉴国外教材的写法,文字阐述详尽,公式简明易记,鲜有数学推导,易教易学。电子电路以定性分析为主,辅以必要的计算,使学生具有数量级的概念。本书力求做到增强可读性,以减少学生学习的困难。

与分立元件相比,集成电路的优点十分突出。用集成电路组成系统,省时、省力、省钱,性能好,可靠性高。本书重点放在与集成电路引出端有关的单元电路上,摒弃以分立元件电路为主干的旧教学模式,代之以集成电路芯片中常用的“基本单元电路”。编者认为,学习电子电路首先要打好基础,这样才能有效地提高学生“读电路”的能力,做到灵活应用集成电路,发挥好集成电路的作用。学习分立元件电路的目的正在于此。

为使学生对当代电子电路的设计及制作有一定程度的认识,了解大规模可编程逻辑器件、硬件描述语言 HDL、电子设计自动化(EDA)开发软件及开发系统的内容,初步掌握 EDA 工具,提高学生理论与实践相结合的能力,本书中适当引入

EDA, 指导学生初步学习 EDA 的软件, 以提高学生理论与实践相结合的能力, 从而解决传统教学中理论与实践严重脱节的问题, 也能为学生在将来的科研、新产品开发、专用集成电路开发、传统机电设备的升级换代和技术改造等方面提供必要的帮助。

本书将教学内容的要求分为掌握、理解和了解三种层次。掌握是指对教学内容理解透彻清楚, 并能应用所学知识解决实际问题; 理解是指对教学内容正确认识, 能够一般应用; 一般了解是指对教学内容具有基本知识, 为今后的进一步学习打下基础。

本书按 50~100 教学学时要求编写, 适合普通高校工科非电专业本科学生使用, 也可用于成人教育有关专业学生。教学中各专业可采取合适的教学顺序、教学环节和教学手段(如多媒体教学等)来完成基本要求所规定的内容。电子技术课程的先修课程是普通物理学和电工技术, 要求学生具有直流电路和交流电路的基本知识, 能够熟练地对电路进行分析和计算的基础。教学中应有意识地指导学生自学, 在培养学生自学能力的同时, 又能解决课时少和内容多的矛盾。教学中应力求做到由浅入深, 循序渐进, 引导学生运用基本概念和方法来分析问题, 培养学生解决实际问题的能力。在学习各类器件时, 重点在器件的基本原理、特点、外特性、主要参数和应用。对教学内容中要求掌握的部分, 书中配有相应的习题, 以加强学生对教学内容理解透彻、正确, 并能应用所学知识解决实际问题, 同时考虑到题型的多样化、综合化。为便于学生的自学和自测, 各章节都配有学习要点和精选的例题、习题以及习题解答。本课程对学生的实际动手能力有较高的要求, 要求每个学生在实验中独立操作, 培养学生的实验技能。

本书由杨建宁编写第 1、2、3、6 章, 马长华编写第 4 章, 谭延良编写第 5 章, 景亮编写第 7、10 章, 白雪编写第 8 章, 徐雷均编写第 9 章。本书由杨建宁担任主编, 负责全书的统筹、修改和定稿。在成书过程中, 自始至终得到江苏大学电气信息学院成立教授、赵不贿教授的热情帮助和教研室同行的大力支持。他们仔细认真地审阅、校核了全部书稿, 并提出了很多宝贵意见和建议, 在本书正式出版之际, 谨向他们一并表示感谢。

限于编写者水平有限, 时间仓促, 书中难免有不妥和错误之处, 我们衷心希望读者对本书提出批评和建议, 以进一步提高本书的质量和水平, 使其更上一层楼。“嘤其鸣矣, 求其友声”。

编 者

2004 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础	1
1.2 半导体二极管	6
1.3 稳压二极管.....	13
1.4 晶体三极管.....	16
1.5 场效应管.....	24
第 1 章 习题	32
第 1 章 习题解答	36
第 2 章 基本放大电路	38
2.1 基本放大电路的组成.....	38
2.2 放大电路的静态分析和动态分析.....	41
2.3 微变等效电路分析法.....	50
2.4 射极输出器.....	61
2.5 多级放大电路与放大电路的频率特性.....	66
2.6 场效应管放大电路.....	72
2.7 差动放大电路.....	78
2.8 功率放大电路.....	89
第 2 章 习题	96
第 2 章 习题解答.....	106
第 3 章 集成运算放大器	108
3.1 集成运算放大器概述	108
3.2 集成运算放大器基本应用电路	115
3.3 集成运放应用电路分析	128
3.4 集成运放电路中的负反馈	140
3.5 正弦波振荡器和信号发生器	152
3.6 集成运算放大器使用注意问题	164
3.7 集成运放实际运用举例	168
第 3 章 习题.....	170

第3章 习题解答	185
第4章 直流电源	190
4.1 单相整流电路	191
4.2 三相整流电路	196
4.3 滤波电路	200
4.4 稳压电路	206
4.5 集成稳压器	213
4.6 ^A 开关型稳压电路	216
第4章 习题	218
第4章 习题解答	222
第5章 现代电力电子技术	223
5.1 功率电子器件	223
5.2 可控桥式整流电路	233
5.3 晶闸管触发电路	241
5.4 调压、变频、逆变和斩波技术	250
5.5 功率电子器件的保护电路	259
5.6 晶闸管交流开关实例	262
第5章 习题	263
第5章 习题解答	264
第6章 组合逻辑电路	266
6.1 数字电路概述	266
6.2 基本逻辑和逻辑门	271
6.3 逻辑代数	278
6.4 TTL 集成逻辑门	288
6.5 CMOS 逻辑门	297
6.6 组合逻辑电路的分析和设计	301
6.7 常用集成组合逻辑电路	308
6.8 组合逻辑集成电路使用实际问题	324
第6章 习题	327
第6章 习题解答	333
第7章 时序逻辑电路	338
7.1 双稳态触发器	338
7.2 寄存器	347
7.3 计数器	352
7.4 555 定时器及其应用	361

7.5 时序逻辑电路应用举例	368
第7章 习题	371
第7章 习题解答	376
第8章 模拟量与数字量转换	377
8.1 D/A 转换器	377
8.2 A/D 转换器	385
8.3 A/D、D/A 在数据采集与控制系统的应用	397
第8章 习题	398
第8章 习题解答	399
第9章 大规模集成电路	401
9.1 概述	401
9.2 存储器	403
9.3 可编程逻辑器件(PLD)	411
9.4 在系统可编程器件 CPLD 和 FPGA	416
第9章 习题	425
第9章 习题解答	426
第10章 电子设计自动化	427
10.1 电子设计自动化(EDA)概述	427
10.2 ABEL-HDL 语言	432
10.3 ispDesign EXPERT 软件的使用	457
10.4 ispPAC 器件与软件 PAC-Designer 的使用	464
第10章 习题	481
参考文献	483
附录 A 电阻器和电容器的标称值	484
附录 B 半导体器件型号命名方法	485
附录 C 常用半导体器件的主要参数	486
附录 D 半导体集成电路型号命名方法	491
附录 E 常用运算放大器的主要参数	492
附录 F 部分常用数字集成电路引线排列图	493
附录 G 晶闸管的命名及主要技术参数	495
附录 H FPGA 和 CPLD 常用芯片一览(按厂家分)	497
附录 I 555 定时器的主要性能参数	499

第 1 章 半导体器件

用半导体材料制成的器件统称为半导体器件。半导体器件具有体积小、重量轻、耗电省、寿命长、输入功率小、能量转换效率高的优点。利用半导体的特性制成的各种半导体器件,在测量、检测、识别和控制等方面得到了广泛的运用,尤其是半导体集成电路,使电子产品在微型化和可靠性方面有了巨大的进步。半导体器件是组成各种电子电路的基础,电子电路的功能和性能与使用的半导体器件密切相关。

半导体器件种类繁多,功能和特点各不相同,而半导体的导电机理和 PN 结的结构是各种半导体的器件和集成电路的基础。

1.1 半导体基础

学习要点

掌握自由电子、空穴、P 型半导体和 N 型半导体的概念。

掌握 PN 结的单向导电性质。

理解温度变化对半导体导电能力影响的原因。

了解半导体的导电机理。

1.1.1 半导体基础知识

自然界的物质按其导电能力的差异,可分为导体、半导体和绝缘体三类。半导体的导电能力,介于导体和绝缘体之间,半导体在常态下接近绝缘体,但在掺杂、受热、光照、电场、磁场的影响下,其导电能力会明显增强而接近于导体。由于半导体导电性能具有这些独特之处,使半导体得到了极其广泛的应用。

例如,有些半导体(如钴、锰、镍等的氧化物)对温度变化的反应特别灵敏,利用这种特性可制成热敏电阻,热敏电阻的阻值随温度变化而改变,其阻值反映了物理量温度的大小。有些半导体(如镉、铅等的硫化物和硒化物)对光照强度的反应特别灵敏,这些半导体能产生光电效应,利用这种特性可制成光敏电阻和光电池。半导体霍尔元件是一种磁电转换元件,霍尔元件能反映磁场的影响。近年来,新颖的半导体器件不断涌现,在许多领域产生了革命性的变化。

半导体的导电特性在于它内部的微观结构和由其微观结构决定的导电机理。原子理论表明,原子是由具有正电荷的原子核和带有负电荷的核外电子组成,电子按一定的规律分布在核外电子轨道层上,围绕着原子核运动,最外层的电子称为价

电子,价电子受原子核的吸引力最弱,在外界环境影响下,较容易摆脱原子核的吸引力束缚,物质的化学性能和导电能力都和价电子有关。工业上用于制造电子器件的半导体材料最主要的有硅(Si)、锗(Ge)和砷化物等。锗元素和硅元素的化合价都是4价,价电子数目是4个,图1.1.1为锗和硅的原子结构模型。图1.1.2为锗和硅的原子结构简化模型,图中 $\oplus 4$ 表示硅和锗原子中除价电子以外的所有内层电子和原子核部分。

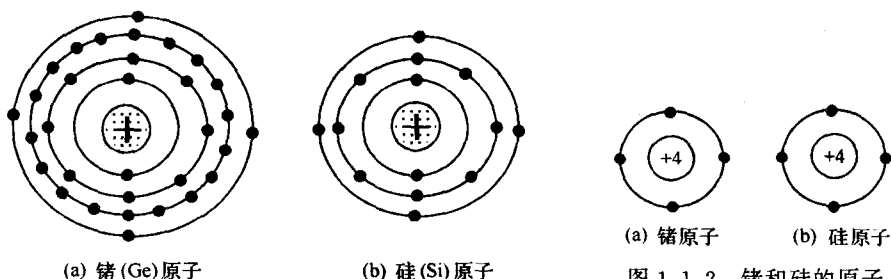


图 1.1.1 锗和硅的原子结构模型

图 1.1.2 锗和硅的原子结构简化模型

锗元素和硅元素中原子都是以共价键电子对的形式结合。共价键电子对结合示意如图1.1.3。电子对中的电子受原子核的吸引力较小,在外界作用下,有少数价电子能够获得足够的能量,挣脱原子核束缚而逸出,成为自由电子。自由电子是带有负电,并能自由运动的电荷,电子对中的价电子挣脱原子核束缚而逸出的过程称为激发,激发后,在原来共价键电子对的位置上,留下的一个空位,称为空穴。空穴对周围电子对中的电子又具有吸引作用,周围电子对中的电子又会填补这个空穴,如此不断递补,相当于空穴在移动,空穴可等价为一个带正电、能自由运动的电荷。电子激发示意图参见图1.1.4,激发过程中,自由电子和空穴是成对产生的。和激发过程相反,如果自由电子和空穴在运动过程中相遇,自由电子填补了空穴,则自由电子和空穴就会成对消失,这个过程称为复合。半导体中的自由电子和空穴统称为载流子。载流子的数量决定了半导体的导电能力。载流子的数量越多,半导体的导电能力越强。半导体中同时存在着两种载流子,这是半导体区别于导体的重要特点。

元素原子排列整齐,具有某种几何对称性的物质形态称为晶体。晶体结构完整、不含杂质的半导体称为本征半导体。在本征半导体中,两种载流子是成对出现,数量相等。温度对载流子的数量影响很大,温度越高,激发就越强烈,载流子的数量就越多。

本征半导体中载流子的数目很少,导电能力较差,如果掺入微量的其他合适元素,可以使半导体的导电能力大大提高,这种过程简称掺杂。例如,在本征半导体纯硅中掺入百万分之一的硼,硅的电阻率就从 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减少到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$,前

后相差六个数量级,可见掺杂对半导体导电能力的影响是巨大的。

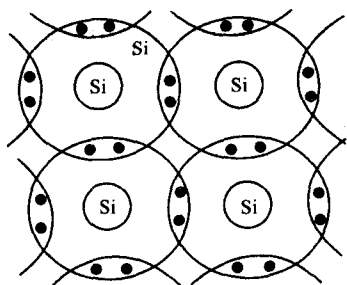


图 1.1.3 硅共价键电子对示意图

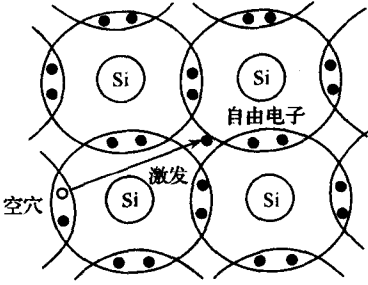


图 1.1.4 电子激发示意图

掺入杂质的半导体称为杂质半导体。如果掺杂后使得自由电子总数目远大于空穴的总数目,则自由电子成为多数载流子,空穴成为少数载流子,这种半导体主要靠自由电子运动导电,称为电子型半导体,简称 N 型半导体。例如,在硅(或锗)晶体中掺入 5 价元素磷 P(图 1.1.5(a)),磷原子 P 取代了某些硅原子的位置,它的 4 个价电子和周围的硅原子的价电子形成共价键电子对后,必然多一个很容易激发的自由电子,这个多余的自由电子逸出后,留下的磷原子核和其余电子就成为带正电荷的正(阳)离子,离子是不能运动的电荷,称为空间电荷。N 型半导体简图参见图 1.1.5(b)。图中 $\oplus$ 表示空间正电荷,•表示自由电子。

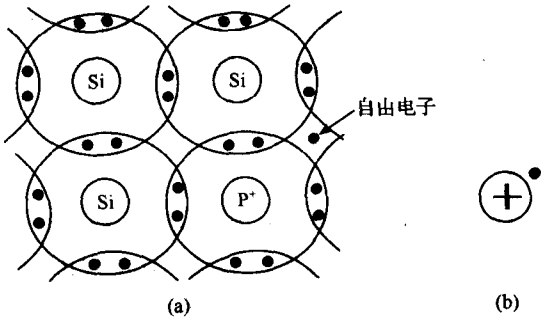


图 1.1.5 N 型半导体

N 型半导体中的载流子绝大部分是通过掺杂产生的自由电子,另外,N 型半导体中激发过程也还存在,还会成对激发出很少的自由电子和空穴,故还有极少量的空穴。半导体中数量占绝对优势的多数载流子简称多子,数量占极少比例的少数载流子简称少子。N 型半导体的多子是自由电子,少子是空穴。

如果掺入杂质后产生了很多空穴,使得空穴的总数远大于自由电子的数目,空穴成为多数载流子,自由电子成为少数载流子,这种半导体主要依靠空穴导电,称为空穴型半导体,简称 P 型半导体。例如,在硅(或锗)晶体中掺入 3 价元素硼(图

1.1.6(a)), 3 价元素的硼原子取代了某些硅原子的位置, 硼的 3 个价电子和周围的硅原子电子结合形成共价键电子对后, 必然出现一个空穴, 空穴很容易吸引临近的电子来补充, 临近的电子补充后, 3 价硅原子核和其余电子以及吸引临近的电子成为带负电的负(阴)离子。P 型半导体简图参见图 1.1.6(b)。图中 $\ominus$ 表示空间负电荷, $\circ$ 表示空穴。和 N 型半导体不同, P 导体的多子是空穴, 少子是自由电子。

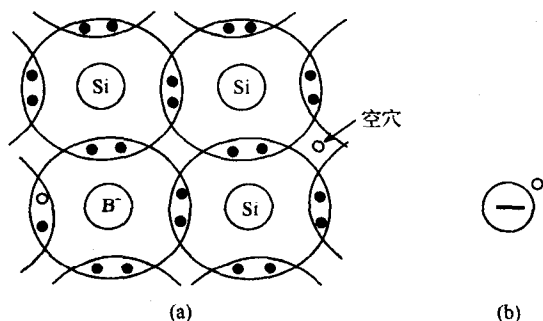


图 1.1.6 P 型半导体

需要特别注意, 在本征半导体中, 空穴和自由电子受外部环境激发成对出现, 两种载流子数量相等。外部环境的影响, 尤其温度对激发影响很大, 温度越高, 载流子激发得到的数量越多。N 型和 P 型半导体中的多数载流子的数量主要取决于人为控制的掺杂浓度, 少数载流子的数量则与激发有密切关系。温度越高, 少数载流子越多。

单纯的 P 型半导体或 N 型半导体与本征半导体相比, 仅仅在于导电能力增强, 可用来制造电阻元件, 半导体集成电路中的电阻就是通过人为控制掺杂程度, 制成所需要的电阻阻值。

1.1.2 PN 结的形成

PN 结是制造各种半导体器件的基础。PN 结的结构示意如图 1.1.7(a)。半导体晶片的两边分别是 P 型半导体和 N 型半导体。P 型区内的空穴浓度大, N 型区内的自由电子浓度大, 两区之间存在着浓度差别, 自由运动的空穴和自由电子将越过交界面, 向对方区域扩散。这种多数载流子因区域浓度上的差异而形成的运动称为多子扩散运动。多数载流子扩散到对方区域后, 带正电的空穴和带负电的自由电子在界面附近相遇而复合, 在交界面的两侧分别留下了不能移动的正离子和负离子, 呈现出一个空间电荷区。由于空间电荷区内的载流子因复合而消耗殆尽, 故空间电荷区又称为耗尽层。同时在正、负离子之间产生一个方向由 N 型区指向 P 型区的电场, 称为内电场, 内电场如图 1.1.7(b)。根据静电场理论, 内电场会对多数载流子的扩散运动起着阻碍作用。少数载流子在内电场作用下, 会越过交界面向对方区域运动, 这种少数载流子在内电场作用下的运动称为少子漂移运动。多子扩散

运动越多,空间电荷区越宽,内电场越得到加强;少子漂移运动越多,空间电荷区越窄,内电场越弱。但是内电场越被加强,对多子扩散运动阻碍越强,对少子漂移运动越有利。在外加条件一定的情况下,最终扩散运动和漂移运动达到了动态平衡,空间电荷区宽度和内电场的强弱保持一定而处于稳定状态,从而形成了PN结。

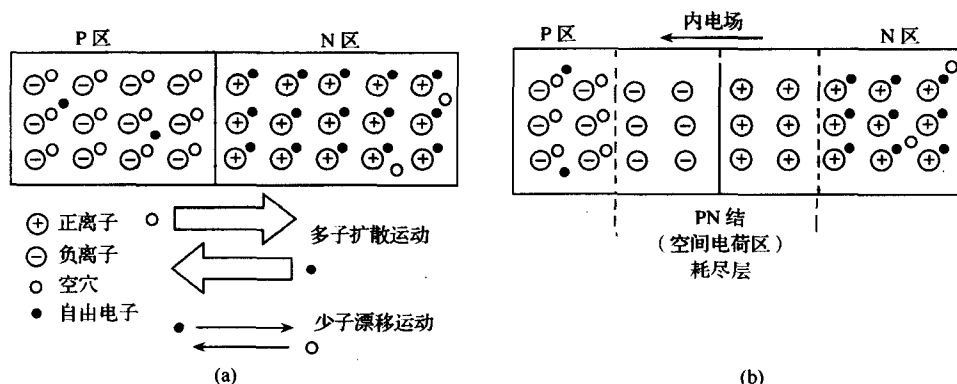


图 1.1.7 PN 结的形成

1.1.3 PN 结的单向导电性

PN 结上外加电压方式称为偏置,所加电压称为偏置电压。如果在 PN 结两端外加上不同方向的电压,PN 结就会呈现出不同的导电性能。

1. PN 结正向偏置

PN 结正向偏置简称正偏。正偏是指 PN 结的 P 区电位高于 N 区电位(图 1.1.8(a))。此时,PN 结处在正向导通状态,PN 结呈现的正向电阻很小。这是由于正偏时外加电压在 PN 结上所形成的外电场与 PN 结内部的内电场方向相反,外电场抵消了阻碍多子扩散运动的内电场的影响,使空间电荷区变窄直至消失,多子扩散运动源源不断地进行,而少子漂移运动减小,外部电源不断地向半导体提供电荷,从而形成较大的扩散电流,并使该电流得以维持。

2. PN 结反向偏置

PN 结反向偏置简称反偏。反偏是指 P 区电位低于 N 区电位(图 1.1.8(b))。这时,PN 结处在反向截止状态。反向截止时,通过 PN 结的反向电流很小,PN 结呈现的反向电阻很大。这是由于反偏时外电场与内电场方向相同,外电场加强了内电场的作用,使得空间电荷区变厚,多子扩散运动难以进行,多子扩散电流为零,漂移运动却被加强,形成了反向漂移电流。但是半导体中的少数载流子的浓度非常之小,故反向电流很微弱,反向漂移电流的数量级一般在微安级。

实际 PN 结正偏时有大量的多子扩散电流流过,相当于一个很小的电阻,反偏时只有很微弱的少子漂移电流流过,相当于一个很大的电阻,这种性质称为 PN 结的单向导电性。理想状态下,PN 结在正偏时完全导通,反偏时完全截止。

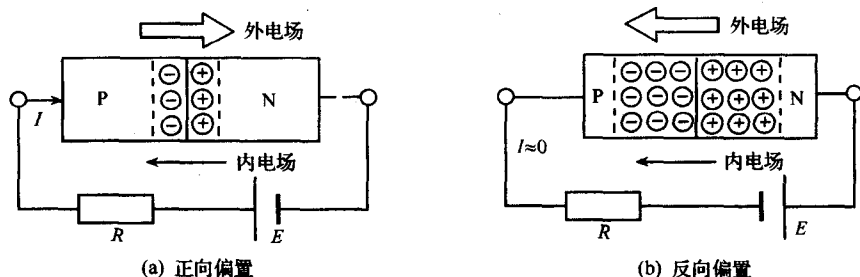


图 1.1.8 PN 结的单向导电性

分析与思考

- 1.1.1 解释名词:激发、复合、多子扩散运动、少子漂移运动、P 型半导体、N 型半导体。
- 1.1.2 价电子、自由电子、空穴、多子、少子、载流子、阳离子、阴离子、空间电荷都是某种带电粒子,叙述它们之间的区别。
- 1.1.3 解释空穴运动的过程。空穴能够吸引周围电子对中的电子来填补这个空穴,这和复合过程中自由电子填补空穴有区别吗?
- 1.1.4 激发和掺杂都能够产生载流子,两者有何区别?
- 1.1.5 解释环境温度变化影响半导体的导电性能的原因。

1.2 半导体二极管

学习要点

- 掌握二极管电路分析方法和理想二极管的概念。
- 掌握二极管的伏安特性曲线,主要参数的含义。
- 理解电子元器件参数分散性的概念和电子电路计算中的工程估算法。
- 理解二极管类型和基本结构。

1.2.1 二极管的基本结构和类型

在 PN 结的 P 区和 N 区两侧各引出一根电极,加以封装,便形成半导体二极管。P 区一侧的电极称为二极管的 P 极(阳极、正极),N 区一侧的电极称为 N 极(阴极、负极),二极管的基本结构和图形符号如图 1.2.1 所示。

二极管按结构不同,分为点接触型和面接触型两种类型,参见图 1.2.2。点接

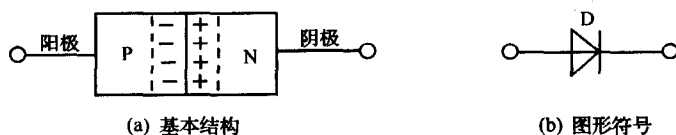


图 1.2.1 半导体二极管

触型二极管的 PN 结面积小,结电容小,一般用于高频小电流电路。面接触型的二极管的 PN 结面积大,结电容大,一般用于低频大电流整流电路。

按材料的不同,二极管可分为硅管(一般多为面接触型)和锗管(一般多为点接触型)两种。

按用途不同,二极管有普通管、整流管、变容管、开关管、检波管等类型。

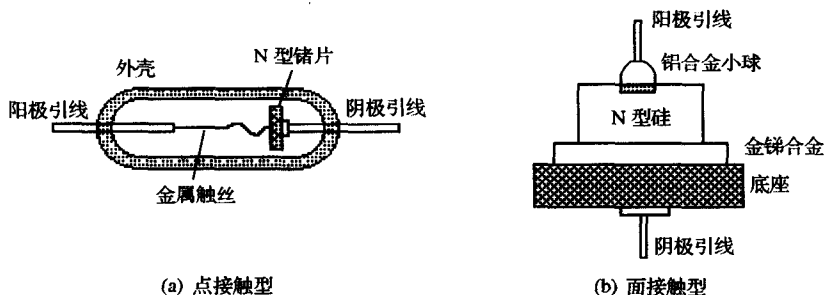


图 1.2.2 半导体二极管结构

1.2.2 伏安特性

伏安特性反映了二极管外加电压和流过二极管电流的关系,伏安特性是二极管的固有属性。图 1.2.3 给出了二极管伏安特性关系曲线的一般形状。二极管伏安特性可分为正向特性和反向特性两部分,通常又分为 4 段区域。

1) 门坎区(死区)

二极管外加正向电压很小时,外电场较小,外电场不足以克服二极管内电场的影响,多数载流子扩散运动难以进行,使得正向电流很小,几乎为零,这时二极管处于截止和微导通状态,这一段所对应的电压称为二极管的死区电压或阈值电压,其大小和材料以及环境温度有关,通常硅管约为 0.5V,锗管约为 0.2V。

2) 线性工作区

二极管外加正向电压增加到大于死区电压后,内电场被大大削弱直至全部抵消,二极管完全导通。这一段特性曲线很陡,在正常工作范围内,二极管两端的电压基本恒定。硅管约为 0.7V,锗管约为 0.3V。

3) 反向饱和区

在反向电压一定范围内,二极管反向偏置时,内电场被加强,使PN结内少数载流子的漂移运动加大而形成了反向电流。但是由于少数载流子数量极少,反向电流很小且几乎恒定,这一反向电流称为反向饱和电流。一般硅管的反向饱和电流比锗管小,前者在几十微安以下,后者则可达数百微安。

4) 反向击穿区

当二极管外加反向电压过高,特性曲线出现突然转折,反向电流突然急剧增加,这是因为外电场太强,P型和N型半导体内电子对中的束缚电子被大量拉出,形成数目很大的自由电子和空穴,同时电子运动速度增加,高速运动的电子与原子碰撞产生更多的自由电子和空穴,并引起连锁反应,使少数载流子的大量增加而导致反向电流的剧增。这种现象称为反向击穿。转折点对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管被击穿后,半导体结构被破坏,温度升高,PN结会失去单向导电性,而且不可能再恢复其原有性能,将造成二极管永久性损坏。

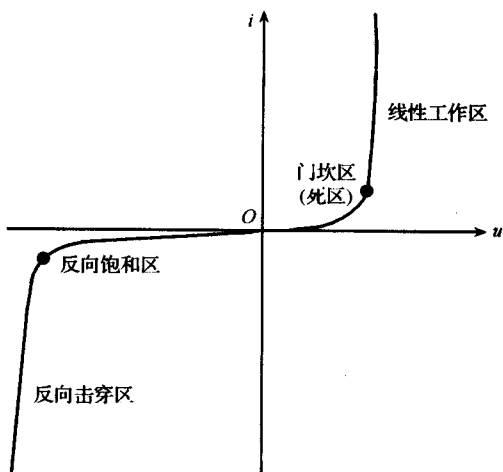


图 1.2.3 二极管伏安特性

温度的变化,会对伏安特性产生很大的影响。二极管的温度增加时,二极管的正向管压降变小,反向饱和电流显著增加,而反向击穿电压则显著下降,尤其是锗管,对温度更为敏感。二极管伏安特性受温度变化影响如图 1.2.4 中虚线。

1.2.3 主要参数

二极管的参数反映了二极管的性能优劣和使用条件,二极管参数是正确选择和使用二极管的依据。二极管的主要参数有:

1) 最大整流电流(额定正向平均电流) I_{OM}

I_{OM} 二极管长时间使用时,允许通过二极管的最大正向电流的平均值。当实际电流超过该值时,二极管会因PN结过热而损坏。大功率二极管在使用时,应按规

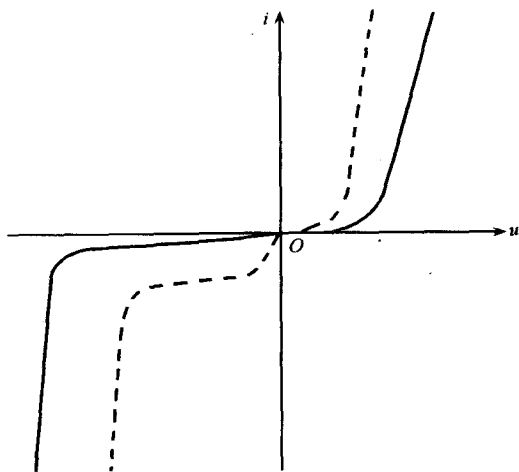


图 1.2.4 温度增加对二极管的伏安特性的影响

定加装规定尺寸的散热片才能在该额定值下工作。

2) 正向管压降 U_F

U_F 是通过二极管的电流为额定正向平均电流时, 二极管两端的电压值。

3) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是保证二极管不被击穿所允许施加的最大反向电压, 一般为反向击穿电压的 $1/2 \sim 2/3$ 。

4) 最大反向电流 I_{FM}

I_{FM} 是二极管加上最高反向工作电压时的反向电流。所选用的二极管反向电流愈小, 则其单向导电性愈好。当温度升高时, 反向电流会显著增加, 使用时应特别注意。

5) 最高工作频率 f_M

二极管具有一定的结电容, 频率较高时, 结电容会通过高频电流, 破坏了二极管的单向导电性。结电容的存在限制了二极管的工作频率, 结电容大的二极管, 允许工作频率低。

特别值得注意的是, 二极管由于制造工艺的限制, 即使是同一型号的管子, 参数的分散性也很大, 有关电子器件手册和产品资料给出的往往都是参数的范围, 而且这些参数都是在一定的条件(温度、电压、频率、负载等)下测得的, 应用时必须注意条件, 若条件发生改变, 相应的参数会发生较大的变化。

一般而言, 电子元器件参数都具有较大的分散性, 这一事实对电子电路的分析和定量计算会产生重大影响, 电路中所提供的电子元器件参数的标称值和实际数值有一定的误差, 精确的计算已没有意义和必要, 工程计算中实际往往采用算法简单、允许一定误差存在的工程估算法。使用工程估算的计算方法是学习电子电路的