



高等学校电气信息类规划教材

- ◎ 基本知识综述及重点难点剖析
- ◎ 典型例题解答
- ◎ 习题精选及答案
- ◎ 重点大学硕士研究生入学考试试题

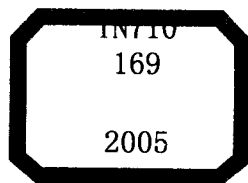
模拟电子技术

重点难点剖析 与解题指导

(第2版)

蔡明生 孔照荣 主编

湖南大学出版社



模 拟 电 子 技 术 重点难点剖析与解题指导

(第 2 版)

主 编	蔡明生	孔照荣
副主编	彭 义	黎福海
编 著	何 敏	程 栋
	许文玉	周子群
主 审	戴瑜兴	

湖南大学出版社

2005 年·长沙

内 容 简 介

本书是以教育部高等工科院校电子技术课程教学指导小组制定的《电子技术基础课程教学基本要求》为依据,以目前国内各高校普遍使用的几套《电子技术基础》教材为背景而编写的一本模拟电子技术基础辅导教材。全书共分九章,每章分为基本知识综述及重点剖析、典型例题精解、习题选编及答案三个层次。基本知识综述用文字、图表简练地归纳,总结教学基本内容;重点难点剖析对重点作提示,对疑难和易出错的问题进行剖析;典型例题精解选取覆盖基本教学内容的各种题型作较详细的分析解答;习题收集尽可能广泛,各题附有提示和答案。

本书可作为本、专科学生学习模拟电子技术的课程辅导教材,亦可作为理工科研究生入学考试的备考复习用书;还可作为担负相关课程教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术重点难点剖析与解题指导/蔡明生,孔照荣主编.

—2版. —长沙:湖南大学出版社,2005.11

(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-487-4

I. 模... II. ①蔡... ②孔... III. 模拟电路—电子技术—
高等学校—教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 132246 号

模拟电子技术重点难点剖析与解题指导

Moni Dianzi Jishu Zhongdian Nandian Pouxu yu Jieti Zhidao

作 者:蔡明生 孔照荣 主编

责任编辑:李继盛

封面设计:张 毅

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8821274(编辑室),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:press@hnu.cn

网 址: <http://press.hnu.cn>

印 装:湖南新华印刷集团有限公司(邵阳)

总 经 销:湖南省新华书店

开本:787×1092 16开

印张:14.5

字数:335千

版次:2005年12月第2版

印次:2005年12月第1次印刷

印数:1~4 000册

书号:ISBN 7-81053-487-4/TN·10

定价:22.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

前 言

本书是依据教育部高等工业学校电子技术课程教学指导小组制定的《电子技术基础课程教学基本要求》，参照目前国内广泛使用的相关教材，结合作者长年的教学实践经验而编写的一本模拟电子技术基础课程学习辅导教材。旨在为在校本、专科学生，高职院校学生及自学读者奉献一本自学指导与复习迎考的参考教材，希望本书也能成为报考硕士研究生的考生考前复习的良师益友。

我们从事模拟电子技术基础课程教学数十年，感到这门课程的特点是发展迅速、内容丰富、概念和符号众多、实践性很强，学生大多感到有一定学习难度。能为学生提供一本既系统扼要地归纳总结基本内容与概念，又提供重点难点提示与分析，并用数量较多的典型例题引导读者加深概念、开阔思路的学习指导教材是我们多年的心愿。

本书各章分为基本知识综述及重点难点剖析、典型例题精解、习题选编及答案三个层次。在编写中，为求既贴近教材，又自成体系。在各章中，首先系统地、简明扼要地总结模拟电子技术基础的基本概念、基本原理和基本分析方法；在例题与习题的选材上，既注意了与相关内容的紧密结合，又考虑了内容的先进性与综合性，在例题分析中除详细介绍解题步骤外，也注重讲述解题的思路、方法和技巧，以扩展读者的思路。在保证教学基本要求的前提下，为满足不同层次、不同水平读者的要求，适当增加了部分内容的深度和难度。

参加本书编写工作的有蔡明生（第2、4章及附录3），孔照荣（第1、5、7章及附录1、附录2），周子群（第3、8、9章），许文玉（第6章）。本书由蔡明生、孔照荣任主编，负责全书的策划、组织和定稿。戴瑜兴教授任主审。

本书的编写得到了湖南大学教务处、湖南大学出版社及湖南大学电气与信息工程学院各级领导的关心和支持，电子信息工程系的老师和同行们更是给予了热情的关心和帮助，在此向他们表示深深的感谢。

由于时间仓促，且限于编者的水平，因此，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者予以批评和指正。

编 者

2002年3月于湖南大学

第 2 版 序

本书是根据高等工业学校《电子技术基础教学大纲》编写的《模拟电子技术基础》的配套学习指导教材。本书内容按照基本知识综述及重点难点剖析、典型例题精解、习题选编及答案三个层次安排,系统扼要地归纳总结了电子技术基础课程所涉及的基本内容和主要概念;对重点和难点作了提示和剖析;尤其是收集了大量来自各院校的考试、考研的典型题目,并对其进行分析、综合、归纳。使你通过学习本书能领悟到如何学好电子技术课程,如何熟悉课程考试、硕士生入学考试的思路、技巧和方法。

本书自第一版问世以来,受到了广大师生的积极关注和热情支持,许多学生在学习受益之后,常以多种方式与编者交流意见,其中不乏赞誉之词,使我们备感欣慰和鼓舞,促使该书在认真修订之后又与读者见面了。愿本书能为你学好电子技术、考试考研成功助一臂之力,也希望继续得到广大师生的关心和支持。

在本次修订中,我们在原书的基础上做了下列工作:

①进一步完善基本知识综述,使之更加言简意明、紧贴基本教材;

②加强了重点难点剖析的内容;

③对典型例题和习题作了进一步的筛选补充和优化;

④更新了近几年一些重点院校的课程考试题和硕士生入学考试题;当然,还少不了修订第一版中的错误。

本书修订由蔡明生,孔照荣任主编,蔡明生负责策划、构思和统稿,孔照荣负责定稿。彭义、黎福海任副主编。何敏负责修订第三、八、九章及附录二;程栋负责修订第四章;彭义负责修订第一、五、七章;蔡明生负责修订第二、六章及附录一、三。

修订后的教材中可能还存在许多不完善甚至错误之处,殷切企望读者给予批评指正。

编者

2005 年 8 月于湖南大学

目 次

第 1 章 半导体二极管及其基本应用电路

1.1 半导体的基础知识	(1)
1.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(1)
1.1.2 习题选编及答案	(3)
1.2 PN 结及半导体二极管	(4)
1.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(4)
1.2.2 典型例题精解	(8)
1.2.3 习题选编及答案	(11)
1.3 特殊二极管	(13)
1.3.1 基本知识综述及重点难点剖析	(13)
1.3.2 典型例题精解	(15)
1.3.3 习题选编及答案	(17)

第 2 章 半导体三极管及其放大电路

2.1 半导体三极管	(18)
2.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(18)
2.1.2 典型例题精解	(22)
2.1.3 习题选编及答案	(24)
2.2 三极管共射极放大电路	(26)
2.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(26)
2.2.2 典型例题精解	(33)
2.2.3 习题选编及答案	(37)
2.3 放大电路三种组态比较、组合单元及多级放大器	(39)
2.3.1 基本知识综述及重点难点剖析	(39)
2.3.2 典型例题精解	(46)
2.3.3 习题选编及答案	(48)
2.4 放大电路的频率特性	(52)
2.4.1 基本知识综述及重点难点剖析	(52)
2.4.2 典型例题精解	(56)
2.4.3 习题选编及答案	(58)

第3章 场效应管及其放大电路

3.1 场效应管的类型和特性	(62)
3.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(62)
3.1.2 典型例题精解	(65)
3.1.3 习题选编及答案	(66)
3.2 场效应管放大电路的分析	(69)
3.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(69)
3.2.2 典型例题精解	(71)
3.2.3 习题选编及答案	(73)

第4章 功率放大电路

4.1 功率放大电路的特殊问题	(78)
4.2 乙类互补功放电路	(79)
4.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(79)
4.2.2 典型例题精解	(81)
4.2.3 习题选编及答案	(84)
4.3 甲乙类互补功放电路	(87)
4.3.1 基本知识综述及重点难点剖析	(87)
4.3.2 典型例题精解	(91)
4.3.3 习题选编及答案	(94)

第5章 集成运算放大器

5.1 集成运算放大器基本知识	(97)
5.2 集成电路中的电流源电路	(100)
5.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(100)
5.2.2 典型例题精解	(102)
5.2.3 习题选编及答案	(103)
5.3 差分放大电路	(104)
5.3.1 基本知识综述及重点难点剖析	(104)
5.3.2 典型例题精解	(107)
5.3.3 习题选编及答案	(111)

第6章 负反馈放大电路

6.1 反馈的基本概念及组态判断	(115)
6.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(115)
6.1.2 典型例题精解	(118)
6.1.3 习题选编及答案	(121)

6.2 负反馈放大电路在深度负反馈条件下的分析与计算	(124)
6.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(124)
6.2.2 典型例题精解	(127)
6.2.3 习题选编及答案	(129)
6.3 负反馈放大电路的稳定性	(131)
6.3.1 基本知识综述及重点难点剖析	(131)
6.3.2 典型例题精解	(132)
第7章 信号的运算与处理电路	
7.1 基本信号运算电路	(134)
7.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(134)
7.1.2 典型例题精解	(139)
7.1.3 习题选编及答案	(143)
7.2 信号处理(有源滤波)电路	(145)
7.2.1 基本知识综述及重点难点剖析	(145)
7.2.2 典型例题精解	(146)
7.2.3 习题选编及答案	(148)
第8章 信号产生电路	
8.1 正弦波振荡器	(149)
8.1.1 基本知识综述及重点难点剖析	(149)
8.1.2 典型例题精解	(153)
8.1.3 习题选编及答案	(155)
8.2 非正弦波产生器	(158)
8.2.1 基本知识综述	(158)
8.2.2 典型例题精解	(160)
8.2.3 习题选编及答案	(162)
第9章 直流稳压电源	
9.1 基本知识综述及重点难点剖析	(164)
9.1.1 基本知识综述	(164)
9.1.2 重点难点剖析	(167)
9.2 典型例题精解	(167)
9.3 习题选编及答案	(169)
附录1 模拟电子技术课程考试模拟试卷	
1.1 模拟电子技术课程考试模拟试卷(A卷)	(173)
1.2 模拟电子技术课程考试模拟试卷(B卷)	(175)

1.3	模拟电子技术课程考试模拟试卷(C卷)	(178)
1.4	模拟电子技术课程考试试卷(湖南大学 2004 年试题)	(180)
1.4*	模拟电子技术试题(湖南大学 2004 年)参考答案	(183)
1.5	模拟电子技术课程考试试卷(湖南大学 2005 年试题)	(185)
1.5*	模拟电子技术试题(湖南大学 2005 年)参考答案	(189)

附录 2 部分重点大学近年硕士研究生入学考试试题

2.1	中国科学院电子学研究所 2005 年硕士研究生入学考试试题	(191)
2.2	中国科学院微电子研究所 2005 年硕士研究生入学考试试题	(193)
2.3	东南大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(195)
2.4	北京邮电大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	(197)
2.5	上海交通大学 2004 年硕士研究生入学考试试题	(200)
2.6	浙江大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(202)
2.7	西安交通大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(203)
2.8	华南理工大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	(205)
2.9	电子科技大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	(208)

附录 3 湖南大学 2003~2005 年硕士学位研究生入学考试试题

3.1	2003 年硕士研究生入学考试试题(模拟电路部分)	(212)
3.2	2004 年硕士研究生入学考试试题(模拟电路部分)	(214)
3.3	2005 年硕士研究生入学考试试题(模拟电路部分)	(216)

参考文献	(219)
------------	-------

第 1 章 半导体二极管及其基本应用电路

半导体二极管是由 PN 结构成的一种最基本的半导体器件,在电子线路中有着广泛的应用。

本章在归纳半导体的基础知识、PN 结的形成及特性的基础上,总结半导体二极管的特性及参数。重点分析由半导体二极管组成的基本应用电路,并讨论几种特殊的半导体二极管及其应用。

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 基本知识综述及重点难点剖析

一、基本知识综述

1. 半导体的定义

按导电性能的不同,物质可分为导体、绝缘体和半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常见的半导体材料有:硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。

2. 半导体的特性

半导体材料的导电能力随温度、光照和掺入某些杂质而发生显著变化,即通常所指的半导体材料具有热敏效应、光敏效应和掺杂效应。

3. 半导体的晶体结构——共价键结构

原子结构:硅和锗都是四价元素,其原子结构中最外层轨道上有四个价电子。由于半导体的导电性能与价电子密切相关,为了突出价电子的作用,常采用图 1.1.1 所示的原子简化模型。图中圆圈内的数字表示原子核具有的正电荷数,虚线上的黑点表示电子。

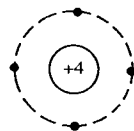


图 1.1.1 原子的简化模型

晶体结构——共价键结构:在纯净的单晶半导体中,原子按一定间隔排列成有规律的空间点阵(称晶格),因原子间相距很近,价电子不仅受自身原子核的约束,还要受相邻原子核吸引,使得每个价电子为相邻原子所共有,从而形成共价键。图 1.1.2 表示了单晶硅或锗的共价键结构。共价键中的电子,由于受到原子核的吸引,不能在晶体中自由移动,在绝对零度(-273°C)时,所有价电子都被束缚在共价键内,晶体中无自由电子,所以半导体不能导电。

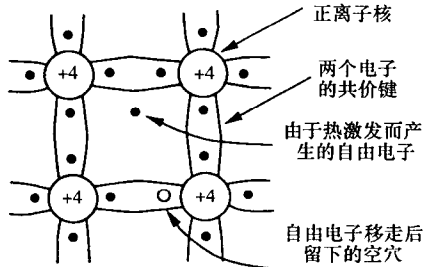


图 1.1.2 单晶硅和锗的共价键结构示意图

4. 半导体中的两种载流子——自由电子和空穴

当温度升高时,共价键内的价电子因热激发而获得能量。其中获得能量较大的一部分价电子,挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下与自由电子数目相同的空位,这些空位叫做空穴。图 1.1.2 同时也表示一个电子脱离共价键而留下空位的情况,空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点(导体中只存在自由电子)。这样由于热激发,在纯净的半导体中存在两种极性的载流子:带负电荷的自由电子(简称为电子)和带正电荷的空穴。这两种载流子在电场作用下,自由电子逆电场运动传导电流,而空穴顺电场运动传导电流。

5. 两种半导体——本征半导体和杂质半导体

(1)本征半导体是一种完全纯净的、结构完整的半导体。在绝对零度时,本征半导体表现为绝缘体的导电性。当温度升高时,由于本征激发(即上述热激发),不断地产生自由电子、空穴对,使载流子浓度增加,在电场作用下自由电子及空穴作定向运动传导电流。

(2)杂质半导体——N 型半导体和 P 型半导体,杂质半导体是有选择地在本征半导体中掺入少量其他杂质所形成的半导体。根据掺入的杂质不同。有 N 型半导体(电子导电型)和 P 型半导体(空穴导电型)两种。

N 型半导体(电子导电型):

在硅(或锗)的晶体中掺入少量五价杂质元素,如磷,由于磷原子外层有五个价电子,它与硅组成共价键时,有一个多余的、不受共价键束缚的电子,只要有很小的能量就能挣脱磷原子的吸引成为自由电子,而磷原子因失去一个价电子而成为正离子被束缚在晶格中,不能自由移动而不能参与导电。如图 1.1.3(a)所示,每个磷原子能提供一个自由电子和一个正离子,故磷元素被称为施主杂质。

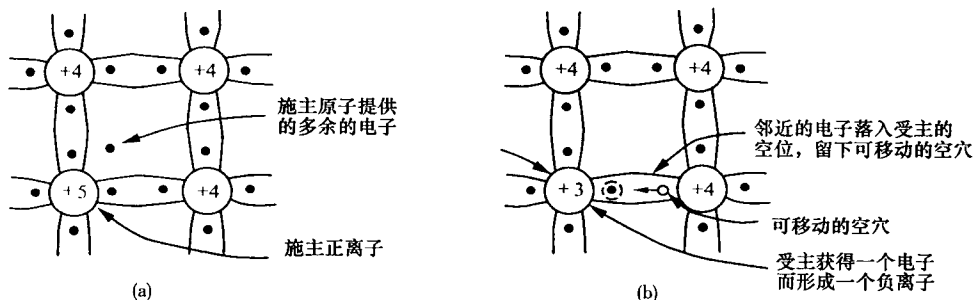


图 1.1.3 N 型、P 型半导体的共价键结构

(a)N 型半导体的共价键结构 (b)P 型半导体的共价键结构

在杂质半导体中,受温度作用而形成的本征激发照常会产生电子、空穴对。但由于掺入施主杂质后电子数目大大增加,使得空穴与电子复合的机会也相应增多,从而使空穴浓度值远低于它的本征浓度值。因此,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)。由于 N 型半导体中主要靠电子导电,所以又称为电子导电型半导体。多子(自由电子)的浓度由掺入杂质的多少决定,少子(空穴)的浓度则由本征激发产生的电子、空穴对决定。在 N 型半导体中,虽然自由电子数远大于空穴数,但由于施主离子的存在,使正、负电荷数相等,所以无外电场作用时,N 型半导体仍是

电中性的。

P型半导体(空穴导电型):

在硅(或锗)的晶体中掺入少量杂质元素硼(钢等),由于硼原子外层只有三个价电子,它与相邻硅原子组成共价键时,便产生一个空位,这个空位极易被邻近硅原子共价键中的价电子填补,使硼原子因多一个价电子而成为负离子,同时在邻近产生一个空穴。因此每个硼原子提供一个空穴和一个负离子,这时,硼被称为受主杂质。如图 1.1.3(b)所示。

与 N 型半导体相反,在 P 型半导体中,空穴浓度远大于电子浓度,空穴为多数载流子(简称多子),而电子为少数载流子(简称少子)。因 P 型半导体中主要靠空穴导电,所以又称为空穴导电型半导体。多子(空穴)的浓度由掺入杂质的硼原子多少决定。少子(电子)的浓度由本征激发产生的电子、空穴对决定。无外电场作用时,P 型半导体仍保持电中性。

6. 半导体中载流子的两种运动——产生与复合

产生——载流子数目增加。本征激发与杂质电离是产生载流子的两种来源。其中本征激发产生电子、空穴对,决定少子的数量(或浓度),杂质电离产生自由电子(或空穴),决定多子的数量(或浓度)。

复合——载流子数目减少。由于正负电荷相吸引,会使电子和空穴在运动过程中相遇。这时电子填入空位成为价电子,同时释放相应的能量,从而消失一对电子、空穴,这一过程称为复合。

7. 半导体中的两种电流——漂移电流和扩散电流

漂移电流——在电场作用下,半导体中的载流子作定向漂移运动形成的电流。它类似于金属导体中的传导电流。它的大小由半导体中载流子浓度、迁移速度及外加电场的强度等因素决定。

扩散电流——在半导体中,因某种原因使载流子的浓度分布不均匀时,载流子会从浓度大的地方向浓度小的地方作扩散运动,从而形成扩散电流。半导体中某处的扩散电流主要取决于该处载流子的浓度差(即浓度梯度)。浓度差越大,扩散电流越大,而与该处的浓度值无关。

二、重点难点剖析

本节主要掌握以下几个概念:

- (1)半导体中的两种载流子——电子与空穴的物理意义。
- (2)半导体中载流子产生的两种途径——本征激发和杂质电离的物理意义。
- (3)本征半导体和杂质半导体的物理意义。
- (4)半导体中的两种电流——漂移电流与扩散电流。

1.1.2 习题选编及答案

【题 1.1.1】 选择填空题

1. 在 P 型半导体中,多数载流子是_____,在 N 型半导体中,多数载流子是_____。

- a. 正离子 b. 自由电子 c. 负离子 d. 空穴

2. 在杂质半导体中,多数载流子的浓度主要取决于_____,而少数载流子的浓度则与_____有很大关系。

a. 温度 b. 掺杂工艺 c. 杂质浓度

3. 本征半导体温度升高后,自由电子和空穴的变化情况是_____。

a. 自由电子数目增加,空穴数目不变 b. 空穴数目增加,自由电子数目不变 c. 自由电子和空穴数目等量增加

4. N 型半导体_____,P 型半导体_____。

a. 带正电 b. 带负电 c. 呈电中性

【答案】 1. d; b. 2. c; a. 3. c. 4. c; c.

1.2 PN 结及半导体二极管

1.2.1 基本知识综述及重点难点剖析

一、PN 结及其特性

1. PN 结的形成

(1)利用半导体掺杂工艺在一片本征半导体硅(或锗)中掺入杂质,使之分成 N 型和 P 型两个部分,因在交界面两侧存在载流子浓度梯度,多子互相对对方扩散,交界处留下了一个几乎没有载流子而只有正、负离子的区域,这就是 PN 结。因在此区域中几乎没有载流子而只存在正负离子电荷,故 PN 结又称为耗尽层、空间电荷区或势垒区,如图 1.2.1(a)。

(2)PN 结中载流子运动的动态平衡

空间电荷区的正、负离子电荷使交界面两侧有电位差,故称势垒。由此产生的电场称内建电场(或自建电场),方向是左负右正,这个内建电场形成电子势能($-qV_0$),如图 1.2.1(b)所示,称为势能。内建电场的存在不利于多子向对方扩散,但有利于少子在该电场的作用下向对方漂移。当无外加电压作用且环境条件稳定时,多子扩散与少子漂移达到动态平衡,使 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。

2. PN 结的单向导电性

(1)当 PN 结外加正向电压时,外加电压在

PN 结中产生的电场(常称外电场)削弱了内电场作用,这种作用打破了 PN 结中载流子的动态平衡。因外电场与内建电场方向相反,有利于多子扩散,不利于少子漂移。此时,PN 结变窄,势垒降低,流过由多子扩散形成的较大正向电流。PN 结呈现为低电阻,处于正向导通状态。

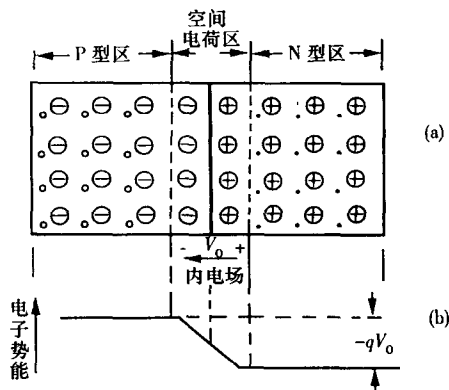


图 1.2.1 单晶硅和锗的共价键结构示意图

(2)当PN结外加反向电压时,外加电压在PN结中产生的电场加强了内电场作用,不利于多子扩散,而有利于少子漂移。此时,PN结变宽,势垒增高,只流过由少子漂移形成的极小的反向电流(常称为反向饱和电流),PN结呈现高电阻,处于反向截止状态。

因此PN结加正向电压时,正向电阻很小,而加反向电压时,反向电阻很大,这就是PN结的单向导电性。这种特性可以等效为一个开关的接通与断开。

(3)PN结的伏安特性直观地表现了单向导电性能,如图1.2.2所示。

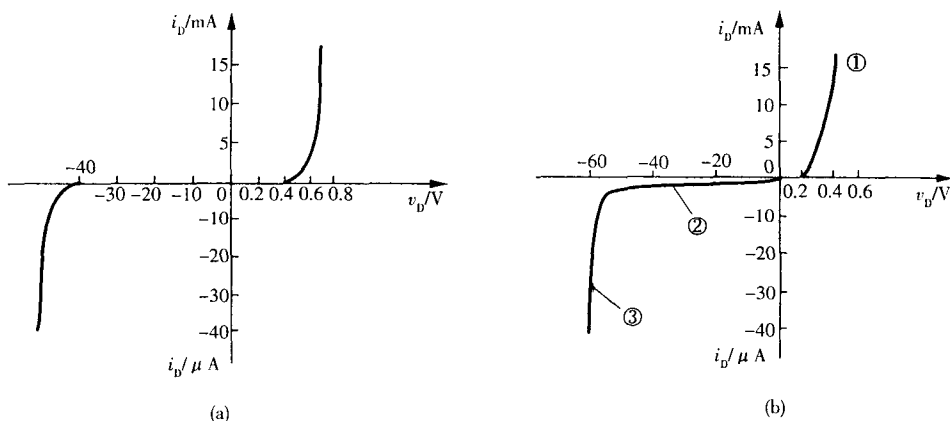


图 1.2.2 PN 结的伏安特性曲线

(a)硅 PN 结 (b)锗 PN 结

①PN结的伏安特性是非线性的。正、反向导电性能有很大差别,而且在不同的电压下,PN结等效电阻是不同的。

②正向特性起始部分的正向电流几乎为零,当正向电压大于门坎电压(硅PN结约为0.5V,锗PN结约为0.1V)后,正向电流增加很快。

③在反向电压作用下形成很小的反向饱和电流,在常温下,硅PN结的反向饱和电流比锗PN结小得多。温度升高时,由于少数载流子浓度增加,反向饱和电流也随之增加。

④反向电压过大会产生反向击穿。

(4)PN结伏安特性表达式

在理想情况下,流过PN结的电流 I 与加于两端的电压 V 之间的关系,可用下式表示:

$$I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

式中, I_s 为PN结的反向饱和电流, q 为电子的电荷量($1e$ 为 1.602×10^{-19} 库仑), k 为玻耳兹曼常数(1.380×10^{-23} J/K), T 为热力学温度, e 为自然对数的底, V_T 为温度的电压当量, $V_T = kT/q$,当 $T=300$ K时, $V_T=26$ mV。

3. PN 结的反向击穿

当外加在PN结上的反向电压超过某一特定电压时,反向电流急剧增大,这种现象称为击穿。

(1)电击穿和热击穿:当反向电压增加使PN结刚开始击穿时,反向电流还不很大,若降低反向电压,PN结仍然能正常工作,这种尚未损坏PN结的击穿称为电击穿。电击穿

具有可逆性。但当发生击穿后,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,热击穿不具可逆性,应予避免。

(2)齐纳击穿和雪崩击穿:按照击穿机理,击穿分为两种。齐纳击穿发生在掺杂浓度高的 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,这种击穿发生时的反向电压(称击穿电压)一般低于 4V。雪崩击穿发生在掺杂浓度低的 PN 结,它是由于碰撞电离加剧在 PN 结中产生载流子的倍增效应而产生的击穿,这种击穿电压一般大于 6V。击穿电压介于 4~6V 时,齐纳击穿和雪崩击穿同时发生。

4. PN 结的电容效应

因加在 PN 结上的偏置电压的改变使空间电荷区的宽度改变,空间电荷区的电荷量随之变化,类似于电容器的充、放电,PN 结的这种效应称为势垒电容效应,常用 C_B 表示。另外,当偏置电压改变时,流过 PN 结的电流也发生改变。由于载流子浓度梯度的原因,PN 结两边 N 区和 P 区的载流子会向对方区域扩散,由对方扩散来的多子(在另一区域称为非平衡少数载流子)浓度梯度变化,使存储到 PN 结两边的 P 区和 N 区的非平衡少数载流子的电荷总量改变,同样类似于电容器的充、放电,PN 结的这种效应称为扩散电容效应,常用 C_D 表示。可见,PN 结的结电容 C 为上述两个电容之和。在高频使用,若 PN 结反偏时,结电容主要表现为势垒电容 C_B ,虽然数值小,但此时结电阻大,所以结电容的影响反而很大,故高频使用时,PN 结结电容的影响不能忽略。图 1.2.3 为 PN 结的高频等效电路。

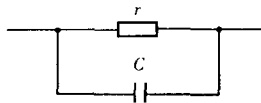


图 1.2.3 PN 结高频等效电路

5. PN 结的温度特性

温度升高时,PN 结的反向电流增大;正向导通电压减小,因此,PN 结的门限电压(使 PN 结开始产生电流所对应的外加电压)具有负温度特性。

二、半导体二极管

1. 二极管的结构及类型

半导体二极管是由一个 PN 结,再加上电极引线,封装而成的。二极管的分类:按制造工艺可分为合金型、扩散型等。按结构形式可分为点接触型、面接触型等。点接触型结面积小,结电容小,适用于高频、小电流的电路,如检波电路。而面接触型结面积大、结电容大,适用于低频、大电流的电路,如整流电路。按其功能可分为普通型二极管(如整流二极管、检波二极管等)和特殊二极管(如稳压二极管、开关二极管、变容二极管等)。

2. 二极管的特性

因二极管是由一个 PN 结构成的,故它具有 PN 结的一切特性。在此不再赘述。

3. 二极管的主要参数

二极管参数的定义和特点见表 1.2.1。

4. 二极管正向特性模型

二极管的正向特性可用四种不同的模型模拟,四种模型分别适用于不同的应用情况。

表 1.2.2 表示了四种模型的等效电路参数和特点。熟悉本表的内容是掌握二极管电

路应用的基础。

表 1.2.1 二极管参数的定义和特点

参数名称及符号	定 义	影响因素及应用要求
最大整流电流 I_F	长期工作时,允许通过的最大正向平均电流	取决于 PN 结面积和散热条件;使用时,二极管的平均电流不能超过 I_F
反向击穿电压 V_{BR}	发生反向击穿的反向电压	器件手册所给的最高工作电压约为 $1/2V_{BR}$
反向电流 I_R	未达到击穿的反向电流	I_R 越小,二极管性能越好
结电容 C	含势垒电容 C_B ,扩散电容 C_D	反向应用时,主要表现为 C_B ,正向应用时,主要表现为 C_D ,结电容主要影响二极管的高频特性
最高工作频率 f_M	二极管工作时的最高信号频率	主要受结电容影响,超过 f_M 时,二极管的单向导电性能变坏

表 1.2.2 二极管正向特性的四种模型

名称	理想模型	恒压降模型	折线模型	小信号模型
V/I 特性曲线				
等效电路(其中 表示理想开关)				
参数及特点	正向时电阻等效为 0,反向时电阻等效为 ∞ ,适用于外加电压大的情况	认为二极管正向压降恒定,硅管 0.7V,锗管 0.2V。适用于 i_D 约为 1mA 的情况	用一个开关、一个电池 V_{th} 和一个电阻 r_D 等效二极管, $r_D = \frac{0.7V - 0.5V}{\text{导通电流}}$,适用于工作电压较小的情况	将工作点 Q 附近的 V/I 关系线性化为一直线,得动态电阻 $r_d = \Delta v_o / \Delta i_D = V_T / I_D = 26(mV) / I_D(mA)$,适用于交流小信号

5. 二极管的应用

利用二极管的单向导电性和二极管模型可以分析常见的二极管电路。如整流电路、限幅电路、开关电路、低电压稳压电路等。

三、重点难点剖析

- (1)掌握 PN 结的单向导电性,能够从物理意义、伏-安特性曲线、PN 结的解析表达式等三个不同的方面解释 PN 结的单向导电性。
- (2)PN 结的反向击穿特性。
- (3)PN 结的电容效应及高频等效电路。
- (4)半导体二极管的单向导电性、伏安特性及主要电参数。
- (5)利用二极管的四种模型(重点在理想模型与恒压降模型)分析应用电路。

1.2.2 典型例题精解

【例 1.2.1】 电路如图 1.2.1 所示。设电路中各二极管近似为理想开关,导通时的正向压降为零,反向截止时的反向电流为零, $R=5.1\text{k}\Omega$ 。试判断各电路中的二极管是导通还是截止,并求出 A 、 O 两点间的电压 V_{AO} 值。

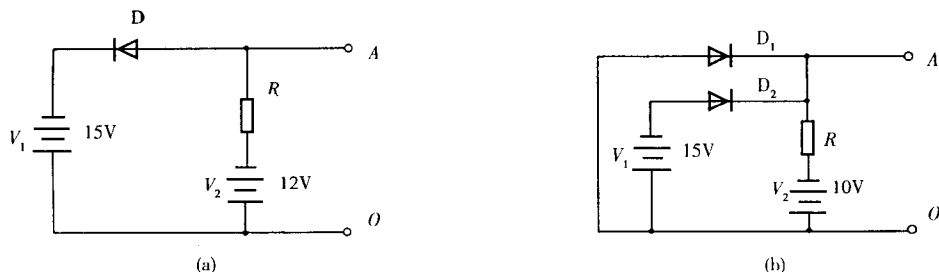


图 1.2.1

【分析】 (1) 由于二极管的伏安特性的非线性,一般不通过列电路方程求解电流、电压,进而判断二极管是否导通,而是通过比较二极管两个电极的电位高低,确定它的工作状态。

(2) 判断二极管是否导通,不能单纯看加于阴极的电压是正还是负,主要应看阳极与阴极间的电位差。小电流时,硅二极管阳极电位至少高于阴极电位 0.5V (锗管高 0.1V) 才能导通。

(3) 含一个网孔的电路,通过断开二极管使回路电流为零,求得二极管阳极、阴极的电位,比较后确定其工作状态;当电路有两个自然网孔时,可先设一个二极管为截止,使电路简化成只有一个回路,求解后再比较被设截止的那个二极管两个电极的电位高低,若阳极电位高于阴极,说明所设错误,该二极管工作状态应为导通。

【解答】 图(a): 断开二极管 D , 且以 O 点作参考节点, 此时, $V_{AO} = -12\text{V}$, $V_1 = -15\text{V}$ 。接入二极管 D , 其阳极电位高于阴极电位, 故 D 导通; 又因 D 应用理想模型, 导通时的电压降为零, 故 $V_{AO} = V_1 = -15\text{V}$ 。

图(b): 设 D_1 截止, 相当于断开, 电路仅留下 V_1 、 D_2 、 R 和 V_2 构成的一个回路。比较 D_2 断开时的 V_{AO} 与 V_1 , 可知 D_2 阳极电位低于阴极, 故 D_2 截止, $V_{AO} = -10\text{V}$, 这将使 D_1 的阳极电位高于阴极, 说明设定不成立。故该电路中 D_1 导通、 D_2 截止, $V_{AO} = 0\text{V}$ 。

【例 1.2.2】 用万用表 $R \times 10\Omega$ 和 $R \times 100\Omega$ 挡来测试同一个二极管的正向电阻时, 为什么测得的电阻值会不相同? 用高阻挡测得的值为什么比用低阻挡测得的大?

【分析】 (1) 二极管具有近似的指数型正向特性, 二极管直流等效电阻和动态电阻均随 i_D 的增大而减小, 掌握这一概念, 才能找出求解本题的方法。

(2) 应了解万用表 $R \times 10\Omega$ 、 $R \times 100\Omega$ 挡是如何影响 i_D 的, 这就要知道万用表测电阻的工作原理及等效电路。

【解答】 用万用表测电阻时, 其内部电路可用图 1.2.2 所示的电路等效。 R_a 称为中值电阻, 它是包括电流表内阻在内的万用表的内阻。当被测电阻 $R_x = 0$, 即万用表“+”