

应用型本科系列教材

模拟电子技术基础

主 编 申忠如

副主编 郭 华



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

21世纪应用型本科系列教材

模拟电子技术基础

主 编 申忠如

副主编 郭 华



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西 安 ·

内容提要

本书是在作者多年从事模拟电子技术的教学与科研工作实践的基础上,参照应用型本科人才培养要求而编写的。其主要特点是对基础理论知识的介绍力求“少而精”,注重了基本概念和分析方法,以使具有再学习能力,突出了使用集成功能模块通过接口组成系统的设计方法,适当地增加了一些扩充内容以实现“因材施教”。

本书主要包括:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其放大电路基础、场效应管及其放大电路、放大电路的频率特性、集成运算放大电路、反馈放大电路、集成运算放大电路的应用、信号的产生与变换、功率放大电路、直流稳压电源等。

本书可作为普通高等学校电气信息类、仪器仪表类、电子信息类及其相近电类专业的教材和教学参考书,也可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/申忠如主编. —西安:西安交通大学出版社,2012.1
ISBN 978-7-5605-4198-3

I. ①模… II. ①申… III. ①模拟电路-电子技术
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 014160 号

书 名 模拟电子技术基础
主 编 申忠如
责任编辑 张 梁

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西时代支点印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 字数 370 千字
版次印次 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-4198-3/TN·132
定 价 26.80 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82664954
读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,由于电子技术的飞速发展,新的器件不断涌现,促使教学内容不断更新和增加,以至于拓展到了许多专业领域。如果对教学内容不能科学合理地优化整合,必然会造成学生应该掌握的基本内容由于课时的限制而不能较好地掌握,教师本不该讲的专业内容也不可能讲清楚。

普通高等院校多数推行“宽口径基础上的专业教育”,强调基础宽,而我们是培养高素质应用型人才的本科学校,强调两个基本点,即“本科规格”和“应用型特色”,这也是与普通本科的主要区别。所以我们不能过分强调“宽基础”,否则就会造成学生不能真正学懂,其效果和没有学差不多。就专业层面上来说,应用型人才应该具备以下两点:

(1)获取知识的能力,具有必要的相关基础理论知识,才能解释现象,分析问题和解决问题。而随着科技的进步和高新技术的发展,还必须再学习。

(2)应用型人才的就业岗位多数是生产第一线,即在企业或公司从事产品设计、调试、运行、维护、改造和相关管理工作。所以他们必须具有较强的实践动手能力、应用系统设计能力、发现问题和解决问题的能力。

介于上述原因,我们确立了编写本书的基本思路:

(1)保证本科的人才培养规格,突出应用型人才的培养特色:“保证基础,突出实践,加强能力”。

(2)鉴于在现代工程应用系统设计中,大都是使用集成化的各种功能模块通过接口组成系统的设计。因此,在教材的内容选取上,对功能模块的原理采用简单的电路予以实现,并由此引出外特性。重点引导学生掌握使用功能模块的功能表,掌握通过接口设计组成应用系统的设计方法。

(3)每章均有内容提要和小结,并配有难易程度和数量均适中的习题;在保证基础够用的前提下,增加功能模块的使用实例。

(4)为了突出应用型人才的培养特色,在配套的实验指导书中,除了验证性的基本实验外,增加设计性实践环节,以培养学生发现问题和解决问题的能力。在课程设计中引入 NI Multisim 11.0 的仿真应用设计,引导学生了解电子技术的新发展,为学生具备专业核心能力奠定必要的基础。

(5)实现因材施教,并结合部分学生考研的需要,在章节安排上基本和普通高校的教材相同。

全书共分 10 章:第 1 章为半导体二极管及其应用;第 2 章为半导体三极管及其放大电路基础;第 3 章为场效应管及其放大电路;第 4 章为放大电路的频率特性;第 5 章为集成运算放大电路;第 6 章为反馈放大电路;第 7 章为集成运算放大电路的应用;第 8 章为信号的产生与变换;第 9 章为功率放大电路;第 10 章为直流稳压电源。其中,第 1~4 章为入门基础;第 5 章包含了分立元件组成的直接耦合放大电路和电流源电路的简单介绍,目的是为了引出集成运算放大器的原理,重点介绍了集成运算放大器的参数和理想等效;第 6 章重点介绍集成运放组成的反馈放大电路;第 7 章在介绍基本运算电路和有源滤波器的基础上,总结了运算放大器在

应用中的一些注意事项;第8章介绍信号的产生与变换,增加了锁相环和信号的调制与解调的一般概念;第9章介绍功率放大电路,并对D类功率放大电路做了简单的入门介绍;第10章在重点介绍线性集成稳压模块应用设计的前提下,增加了开关稳压电源基本原理。各章所增加的内容,用“*”号予以提示。

本书的编写工作具体分工如下:申忠如编写第1~4章并负责制订编写提纲和统稿工作,郭华编写第5、7章并协助主编统稿和校对,郭霞编写第6、10章,张安莉编写第8、9章。

在编写过程中,西安交通大学城市学院电气与信息工程系的全体教师参与了讨论并提出了宝贵意见,西安交通大学杨拴科教授认真审阅了全稿,并提出了许多修改意见,在此,编者谨向他们致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011年11月

目 录

第 1 章 半导体二极管及其应用	(1)
1.1 半导体	(1)
1.1.1 本征半导体	(1)
1.1.2 掺杂半导体	(2)
1.2 PN 结	(2)
1.2.1 PN 结的形成	(2)
1.2.2 PN 结的单向导电性	(3)
1.2.3 PN 结的电压与电流关系	(4)
1.3 半导体二极管	(5)
1.3.1 二极管的结构和类型	(5)
1.3.2 二极管的伏安特性	(5)
1.3.3 温度对二极管特性的影响	(6)
1.3.4 二极管的主要电参数	(6)
1.3.5 二极管的等效电路	(7)
1.3.6 二极管的应用举例	(8)
1.4 特种二极管	(11)
1.4.1 硅稳压二极管	(11)
1.4.2 发光二极管和光敏二极管	(14)
1.4.3 变容二极管	(15)
本章小结	(16)
习题 1	(17)
第 2 章 半导体三极管及其放大电路基础	(20)
2.1 半导体三极管	(20)
2.1.1 三极管的工作原理	(20)
2.1.2 共射极接法下三极管的特性曲线	(23)
2.1.3 三极管的主要参数	(24)
2.1.4 温度对三极管参数的影响	(25)
2.2 放大电路基础	(25)
2.2.1 共射极放大电路的组成及原理	(25)
2.2.2 放大电路的静态分析	(26)
2.2.3 放大电路动态性能的图解法分析	(28)
2.2.4 放大电路动态性能的微变等效电路分析法	(31)
2.3 放大电路的主要性能指标	(33)

2.4 静态工作点稳定的放大电路	(36)
2.4.1 电路参数对静态工作点的影响	(36)
2.4.2 静态工作点稳定电路分析	(37)
2.5 共集电极和共基极放大电路	(39)
2.5.1 共集电极放大电路	(39)
2.5.2 共基极放大电路 *	(41)
2.5.3 三种基本放大电路的比较	(42)
2.6 多级放大电路	(42)
2.6.1 多级放大电路的静态工作点	(42)
2.6.2 多级放大电路的动态特性估算	(43)
本章小结	(44)
习题 2	(45)

第 3 章 场效应管及其放大电路

3.1 结型场效应管	(49)
3.1.1 N 沟道结型场效应管	(49)
3.1.2 P 沟道结型场效应管	(52)
3.2 绝缘栅场效应管	(53)
3.2.1 增强型 MOS 管	(53)
3.2.2 耗尽型 MOS 管	(56)
3.2.3 场效应管的主要特性参数	(58)
3.3 场效应管的放大电路	(59)
3.3.1 直流偏置及静态分析	(59)
3.3.2 场效应管微变等效电路	(61)
3.3.3 场效应管组成的三种基本放大电路	(62)
本章小结	(65)
习题 3	(65)

第 4 章 放大电路的频率特性

4.1 放大电路的频率响应与分析方法	(69)
4.1.1 频率响应与频率失真	(69)
4.1.2 频率响应的分析方法	(69)
4.2 RC 电路的频率响应	(70)
4.2.1 RC 高通电路的频率响应	(71)
4.2.2 RC 低通电路的频率响应	(72)
4.3 晶体管的高频特性	(74)
4.3.1 晶体管的高频混合 π 型等效电路	(74)
4.3.2 晶体管电流放大系数的频率响应	(76)
4.4 单管放大电路的频率特性	(77)

4.4.1 共射极放大电路的频率特性	(77)
4.4.2 共基极放大电路的频率特性 *	(81)
4.5 多级放大电路的频率特性	(81)
本章小结	(82)
习题 4	(82)
附录 4	(84)
第 5 章 集成运算放大电路	(85)
5.1 集成运算放大电路概述	(85)
5.1.1 集成运放电路的结构特点	(85)
5.1.2 集成运放电路的组成	(86)
5.2 差分放大电路	(86)
5.2.1 差分放大电路概述	(86)
5.2.2 双端输入双端输出的差分放大电路	(87)
5.2.3 单端输入单端输出的差分放大电路	(90)
5.2.4 带恒流源的差分放大电路	(93)
5.3 电流源电路	(94)
5.3.1 镜像电流源	(94)
5.3.2 比例电流源	(95)
5.3.3 微电流源	(95)
5.4 复合管电路	(96)
5.5 互补推挽功率放大电路	(96)
5.6 通用集成运放	(97)
5.6.1 双极型通用运放简化电路	(97)
5.6.2 集成运放的基本参数及简化低频等效电路	(98)
5.6.3 集成运放的噪声 *	(100)
本章小结	(102)
习题 5	(103)
第 6 章 反馈放大电路	(107)
6.1 反馈的概念	(107)
6.2 负反馈放大电路的基本类型	(108)
6.2.1 负反馈放大电路方框图	(108)
6.2.2 负反馈放大电路的基本形式	(109)
6.2.3 闭环增益及其一般表达式	(115)
6.3 负反馈对放大电路性能的影响	(116)
6.4 引入负反馈的方法	(122)
6.5 深度负反馈放大电路的分析与计算	(123)
6.6 负反馈放大电路的自激振荡及其消除 *	(126)

6.6.1	负反馈放大电路的自激振荡条件	(126)
6.6.2	负反馈放大电路的稳定性	(127)
6.6.3	负反馈放大电路消除自激振荡的方法	(128)
本章小结		(130)
习题 6		(130)
第 7 章	集成运算放大电路的应用	(134)
7.1	基本运算电路	(134)
7.1.1	比例运算电路	(134)
7.1.2	加法和减法运算电路	(135)
7.1.3	积分和微分运算电路	(137)
7.1.4	对数和反对数运算电路	(138)
7.1.5	模拟乘法器	(140)
7.2	有源滤波器	(141)
7.2.1	低通滤波器	(142)
7.2.2	高通滤波器	(145)
7.2.3	带通滤波器	(146)
7.2.4	带阻滤波器	(148)
7.3	电量检测调理电路 *	(149)
7.3.1	绝对值电路	(149)
7.3.2	平均值电路	(151)
7.3.3	峰值检波电路	(152)
7.3.4	有效值电路	(153)
7.3.5	电荷放大器	(155)
7.4	运算放大器在应用中的几个问题	(156)
7.4.1	运放的选型	(156)
7.4.2	运算放大器的调零、消振和保护	(157)
7.4.3	常用集成运放构成的功能模块简介 *	(158)
7.4.4	几种特殊用途的运算放大器 *	(161)
7.4.5	运放的单电源供电电路 *	(163)
本章小结		(165)
习题 7		(165)
第 8 章	信号的产生与变换	(170)
8.1	概述	(170)
8.2	正弦波振荡电路	(170)
8.2.1	正弦波振荡电路的组成原理	(171)
8.2.2	RC 正弦波振荡电路	(172)
8.2.3	LC 正弦波振荡电路	(174)

8.2.4 石英晶体正弦波振荡电路 *	(179)
8.3 电压比较器	(181)
8.3.1 单门限比较器	(181)
8.3.2 迟滞比较器	(183)
8.3.3 窗口比较器	(185)
8.4 非正弦信号发生器	(186)
8.4.1 方波发生器	(186)
8.4.2 三角波和方波发生器	(188)
8.4.3 压控振荡器	(189)
8.5 锁相环路 *	(190)
8.5.1 锁相环路的基本结构与工作原理	(190)
8.5.2 集成锁相环	(191)
8.5.3 由 CD4046 组成的频率合成器举例	(192)
8.6 信号的调制与解调 *	(194)
8.6.1 振幅的调制与解调	(194)
8.6.2 频率的调制与解调	(198)
8.6.3 混频电路	(200)
本章小结	(201)
习题 8	(202)
第 9 章 功率放大电路	(206)
9.1 概述	(206)
9.1.1 功率放大电路的特点和要求	(206)
9.1.2 功率放大电路的工作状态分类	(207)
9.2 A 类(甲类)功率放大电路	(208)
9.3 B 类(乙类)互补推挽功率放大电路	(209)
9.4 AB 类(甲乙类)互补推挽功率放大电路	(210)
9.4.1 AB 类双电源互补推挽功率放大电路	(211)
9.4.2 AB 类单电源互补推挽功率放大电路	(211)
9.4.3 集成功率放大电路举例	(211)
9.5 C 类(丙类)功率放大电路 *	(214)
9.6 D 类(丁类)功率放大电路 *	(215)
本章小结	(216)
习题 9	(217)
第 10 章 直流稳压电源	(219)
10.1 线性直流稳压电源的组成	(219)
10.2 单相桥式整流电路与滤波电路	(219)
10.2.1 单相桥式整流电路	(219)

10.2.2 滤波电路·····	(221)
10.3 稳压电路·····	(225)
10.3.1 稳压电路的主要指标·····	(225)
10.3.2 串联型线性稳压电路·····	(226)
10.4 集成稳压电路·····	(230)
10.4.1 固定式集成三端稳压器·····	(230)
10.4.2 输出可调的集成稳压器·····	(232)
10.5 开关稳压电源 * ·····	(233)
10.5.1 PWM 脉冲调制器电路原理 ·····	(233)
10.5.2 降压斩波电路·····	(234)
10.5.3 串联型开关稳压电路·····	(235)
本章小结·····	(235)
习题 10 ·····	(236)

第 1 章 半导体二极管及其应用

内容提要

本章重点介绍了半导体二极管的单向导电性、主要参数、选择二极管和主要应用电路的分析方法;本章还讨论了稳压二极管的反向击穿原理、主要参数和在应用电路设计中的限流电阻的估算,而对于其他内容仅作一般介绍。

1.1 半导体

自然界中的物质按照导电能力的强弱可分为以下三类:

导体:导电能力很强,如导线中常用的铜、铝、银等。

绝缘体:电的不良导体,如橡皮、陶瓷、塑料等。

半导体:导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,如硅 Si 和锗 Ge。半导体之所以有如此广泛的应用,是因为以下原因:

(1)半导体物质具有光敏特性,利用该特性可制成光敏器件,如光敏管;

(2)半导体物质具有热敏特性,利用该特性可制成热敏器件,如热敏管;

(3)特别是给纯净的半导体中加入微量的其他特定元素时,它的导电能力便会有显著的提高。利用该特性可以制成各种半导体器件,如二极管、三极管等。

1.1.1 本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体,例如本征硅或本征锗,如图 1.1.1 所示。本征硅或本征锗的原子结构的最外层有 4 个价电子,在单晶结构的半导体中,通过共有化运动,形成稳定的共价键结构。在室温下本征半导体中,硅(锗)的价电子在外部能量(如光照、热激发和电场等)的作用下,获得能量可挣脱原子核的束缚成为自由电子,同时价电子在脱离原子核后便在原来的共价键中留下一个空穴。自由电子和空穴称为两种载流子,即它们在电场作用下都可以移动形成电流。自由电子导电是容易理解的,而空穴导电的本质是由共价键束缚的价电子与已激发形成的空穴复合,这样在原来的地方又会出现新的空穴。这种价电子从一种束缚状态变成另一种束缚状态的移动称为空穴的逆向运动,因此带正电荷的空穴也被认为能够参与导电。

在本征半导体中,电子和空穴是成对出现的;电子和空穴的浓度仅与温度有关,即温度愈高,电子-空穴对浓度愈高;整体呈电中性。一般本征半导体由于载流子浓度很低,所以实际上是不能导电的。

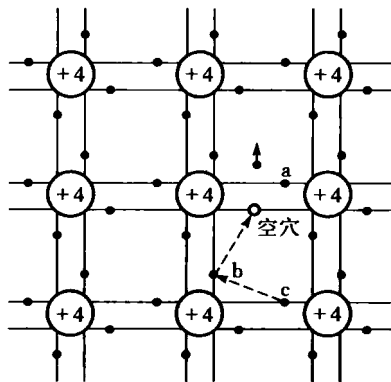


图 1.1.1 本征半导体

1.1.2 掺杂半导体

1. N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素磷或砷等,磷原子中的有 4 个价电子与硅原子的 4 个价电子形成共价键,多余的另一个价电子由于不受共价键的束缚成为自由电子,此时的磷原子因失去一个电子而变为正离子。由于原来在本征半导体中的自由电子和空穴是成对产生的,掺杂后的自由电子数远远大于空穴数,所以叫 N(Negative)型半导体,如图 1.1.2(a)所示。在 N 型半导体中,自由电子称为“多数载流子”,简称“多子”;空穴称为“少数载流子”,简称“少子”。

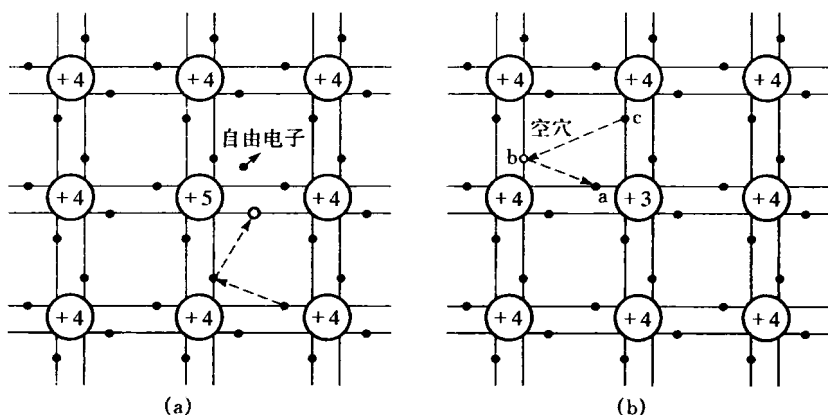


图 1.1.2 掺杂半导体

(a)N 型半导体;(b)P 型半导体

2. P 型半导体

如果在本征半导体中掺入微量的三价元素硼或铝等,硼原子的 3 个价电子与硅原子的 4 个价电子形成共价键时,因少一个电子而出现了空穴,此时若有自由电子填补空穴,则硼原子因得到一个电子而变为负离子。显然,掺杂后的空穴数远远大于自由电子,因为空穴带正电荷,所以称为 P(Positive)型半导体,如图 1.1.2(b)所示。

在 P 型半导体中,空穴称为“多数载流子”,简称“多子”;自由电子称为“少数载流子”,简称“少子”。

无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,整体都呈电中性。另外,多子的浓度与掺杂有关,少子的浓度与温度有关。

1.2 PN 结

1.2.1 PN 结的形成

若在一块 N 型半导体的一侧通过掺杂工艺形成 P 型半导体,如图 1.2.1(a)所示,那么在这两种半导体的交界处会产生如下运动:即由于浓度差产生的多子扩散运动和在电场作用下产生的少子漂移运动。

(1) P 型半导体中的多子(空穴)向 N 区扩散变为少子,并与该 N 区的多子复合,在 P 区侧剩下不能移动的负离子;同时 N 型半导体中的多子(自由电子)向 P 区扩散变为少子,并与该 P 区的多子复合,在 N 区侧剩下不能移动的正离子,如图 1.2.1(b)所示。此时的正负离子区域称为“空间电荷区”或“耗尽层”,在空间电荷区的正负离子建立了由 N 区指向 P 区的内电场。

(2) 由于内电场的方向与多子的扩散方向相反,因此它阻碍了 P 区和 N 区多子的扩散,但同时又有利于少子的漂移,所以又称为势垒或位垒。

(3) 当多子的扩散和少子的漂移达到动态平衡后,空间电荷区的宽度将不再变化,空间电荷区也称为 PN 结。

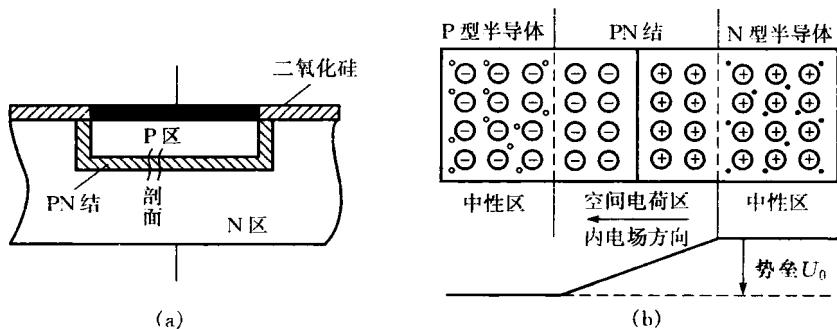


图 1.2.1 PN 结的结构

(a) PN 结的结构图; (b) 空间电荷区的形成

1.2.2 PN 结的单向导电性

1. PN 结加正向偏置

当外加电压的正极经限流电阻加至 P 型半导体端,负极加至 N 型半导体端时,称为正向偏置,简称正偏,如图 1.2.2 所示。这时,由于 PN 结所加正向电压 U_F 形成的外电场方向与内电场方向相反,因此它削弱了内电场,使 PN 结变薄,从而有利于多子扩散,不利于少子漂移。

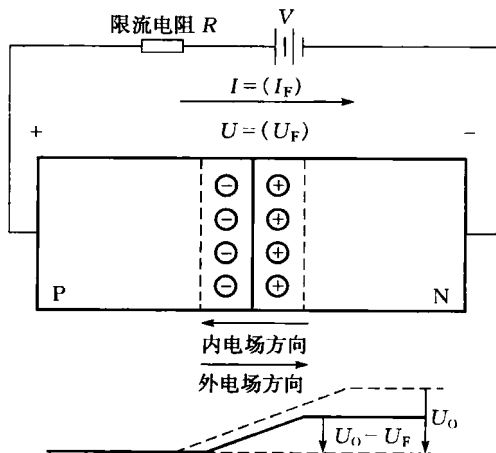


图 1.2.2 PN 结加正向偏置

多子扩散形成大的正向电流,PN 结呈现低阻(导通)状态。

2. PN 结加反向偏置

当外加电压的负极经限流电阻加至 P 型半导体端,正极加至 N 型半导体端时,称为反向偏置,简称反偏,如图 1.2.3 所示。这时,由于 PN 结所加反向电压 U_R 形成的外电场方向与内电场方向相同,因此它增强了内电场,使 PN 结变宽,从而有利于少子漂移,不利于多子扩散。由于在常温下,少子浓度很低,所以即使有较高的反向电压使少子全部参加导电,反向电流 I_R 也不会再增加,这时的反向电流称为反向饱和电流,记作 I_S ,PN 结呈现高阻(截止)状态。

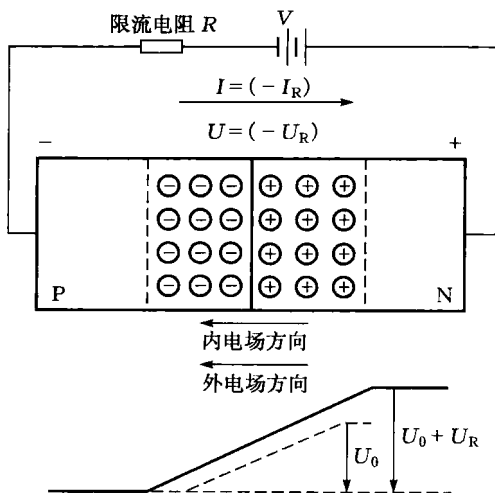


图 1.2.3 PN 结加反向偏置

1.2.3 PN 结的电压与电流关系

PN 结加正向偏置,呈现低阻(导通)状态;PN 结加反向偏置,呈现高阻(截止)状态。根据理论分析,PN 结的电压 u 与其电流 i 之间的关系可近似地由下式表示:

$$i = I_S (e^{\frac{qu}{kT}} - 1) \quad (1.2.1)$$

其中, I_S 为少数载流子形成的反向饱和电流; u 为加至 PN 结两端的电压; q 为电子的电量; k 为波尔兹曼常数; T 为热力学温度。将式(1.2.1)中的 $\frac{kT}{q}$ 用 U_T 代替,则得

$$i = I_S (e^{\frac{u}{U_T}} - 1) \quad (1.2.2)$$

其中, U_T 为热电压,常温下 ($T=300\text{ K}$) $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

从式(1.2.1)可知:

- (1) 若 PN 结加正向电压 u , 且硅管在 $u \leq 0.5\text{ V}$ 时, PN 结正向电流为零, 这段称为死区;
- (2) 若 PN 结加正向电压 u , 且 $u \gg U_T$ 时, 方程变为

$$i = I_S e^{\frac{u}{U_T}} \quad (1.2.3)$$

即电流 i 曲线按指数上升;

- (3) 若 PN 结加后向电压, 且 $|u| \gg U_T$, 即 $e^{-\frac{u}{U_T}} \ll 1$ 时, 方程变为

$$i = -I_S \quad (1.2.4)$$

(4)若PN结加反向电压,且 $|u|$ 继续变大会出现反向击穿现象。

1.3 半导体二极管

1.3.1 二极管的结构和类型

半导体二极管的核心是PN结,它是将PN结两端加以电极引出线并用玻璃或金属壳封装而成的,如图1.3.1(a)所示。

二极管按照所用的半导体材料不同可分为锗二极管(Ge管)和硅二极管(Si管);按照其用途不同可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管等;按照管芯结构不同可分为点接触型二极管(如图1.3.1(b)所示)和面接触型二极管(如图1.3.1(c)所示)。点接触型二极管由于结电容小,所以工作频率高,但流过电流也小,常用于检波等高频小电流场合,如收音机电路里的检波等;而面接触型二极管的“PN结”面积较大,结电容大,可流过电流也大,常用于整流等频率较低的场合。二极管的图形符号如图1.3.1(d)所示。

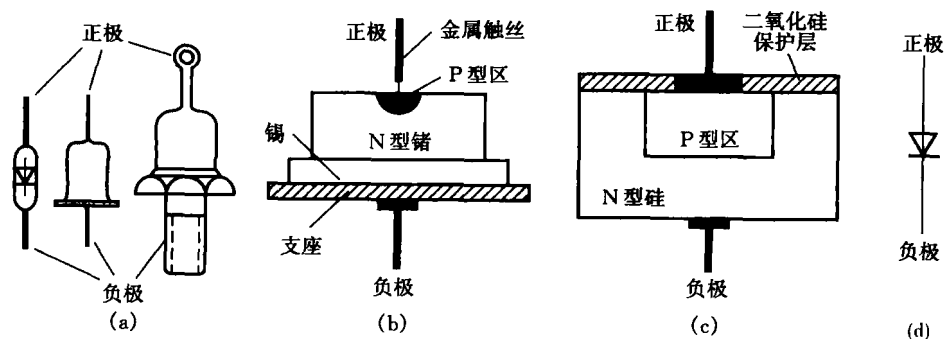


图 1.3.1 二极管的结构

(a)实物图;(b)点接触;(c)面接触;d)符号

1.3.2 二极管的伏安特性

描述半导体二极管两端的电压 u_D 与其电流 i_D 之间的关系称为二极管伏安特性。由于半导体二极管的核心是PN结,电极引线电阻、体电阻很小,而电极之间的漏电阻又很大,所以二极管伏安特性曲线和PN结的理想曲线近似相等。实际上如果我们要测试PN结的伏安特性曲线来验证理论方程,也必须用引出线构成测试电路。所以半导体二极管的电压 u_D 与其电流 i_D 之间的关系可近似地用式(1.3.1)表示。

$$i_D = I_S(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1) \quad (1.3.1)$$

图1.3.2(a)、(b)所示的分别为某锗和硅二极管的伏安特性曲线。从图中可以看出:半导体二极管具有非线性的伏安特性。

(1)正向特性:从曲线中可知,当 u_D 很小,一般硅二极管在 $u_D \leq 0.5$ V时(对于锗管为0.1 V),正向电流几乎为零,这段区域称为死区,对应的电压0.5 V称为死区电压 U_{th} 。在死区

电压内,外电场还不足以克服内电场,多子扩散运动并不显著,所以电流很小。当 $u_D \geq 0.5 \text{ V}$ 且不断变高时, i_D 曲线按指数急剧上升。

(2) 反向特性: 当反向电压较小时, $i_D = -I_S$; 在一定范围内增加反向电压时, i_D 变化不明显, 这是因为少子浓度仅与温度有关而与所加反向电压无关。当反向电压变得很大时会出现击穿, 表现出电压不变而电流急剧增大, 如果不加限流电阻, 会因为热击穿而烧毁管子。所以使用二极管时应防止反向电压过大。

二极管加正向电压导通, 加反向电压截止, 表现出二极管的单向导电性。

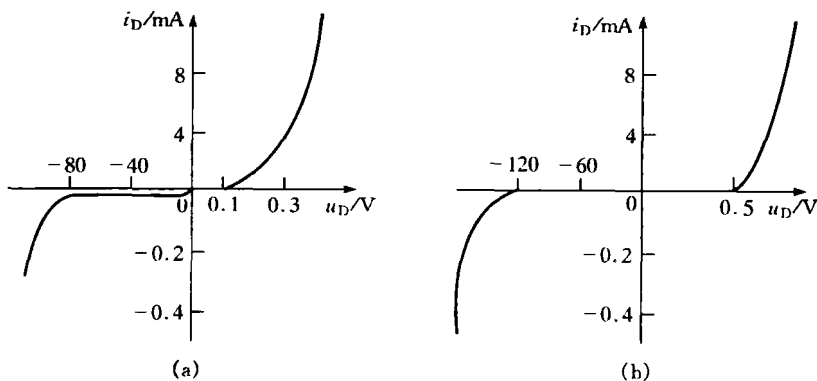


图 1.3.2 二极管的伏安特性曲线

(a) 锗管; (b) 硅管

1.3.3 温度对二极管特性的影响

1. 温度对反向特性的影响

由于少子的浓度仅与温度有关, 所以温度升高, 少子的浓度也升高, 反向特性曲线下移; 由于反向电流变大, 所以击穿电压向右移。一般温度每升高 10°C , 反向电流将翻一番, 其计算公式为

$$I_{S(T)} = I_{S(T_0)} 2^{\frac{T - T_0}{10}} \quad (1.3.2)$$

其中, $I_{S(T_0)}$ 为温度为 T_0 时的反向饱和电流; $I_{S(T)}$ 为温度上升到 T 时的反向饱和电流。

2. 温度对正向特性的影响

由半导体理论可知, 温度每升高 1°C , 二极管的正向电压降低 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$, 即死区电压 U_{th} 降低 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$, 所以正向特性曲线向左上移。

1.3.4 二极管的主要电参数

二极管的参数可以从半导体手册、制造厂的产品目录查出或用晶体管特性图示仪直接测量获得。二极管主要电参数的含义介绍如下:

(1) 反向击穿电压 U_{BR} 和最高反向工作电压峰值 U_R : 反向击穿电压 U_{BR} 是二极管在反向偏置下, 反向电流值增大到某一规定值时的反向电压值; 而为了确保管子的安全工作, 定义管子击穿电压的一半为最高反向工作电压峰值 U_R 。

(2) 反向电流 I_R : 在室温条件下, 加在管子两端的反向工作电压时流过管子的电流。反向电流 I_R 愈小, 表明管子的单向导电性愈好, 该参数可由手册上给出。