

中等专业学校教材

电子技术基础

洪荣芬 卞小梅

华中理工大学出版社

内 容 简 介

本书是按中等专业学校无线电技术编审组在1986年8月武汉会议上确定的《电子技术基础》编写大纲要求编写的。

本书主要包括：半导体器件、模拟电路（包括低频、高频）、脉冲与数字电路、电子元器件基础知识以及电子设备整机介绍等五部分。重点从使用的角度来介绍电子器件的外特性和参数，基本单元电路的基本概念、基本原理及其基本分析方法。

各章后面均附有小结、思考题和练习题。

本书为中等专业学校电子设备结构专业试用教材，也可作为其他非电专业以及从事电子技术工作人员参考书。

中等专业学校教材

电 子 技 术 基 础

洪荣芬 卞小梅

责任编辑 周筠

华中理工大学出版社出版发行

（武昌喻家山）

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：18.75 字数：446 000

1989年12月第1版

1989年12月第1次印刷

印数：1—3 5000

ISBN 7-5609-0414-9/TP·34

定价：3.40元

出 版 说 明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划,由电子工业部中专电子类教材编审委员会无线电技术编审小组征稿,推荐出版,责任编辑:陈继生。

本教材由南京无线电工业学校、常州无线电工业学校合编,贵州无线电工业学校王芳建担任主审。

本课程的参考学时数为150学时,其主要内容为半导体器件、模拟电路(包括低频、高频)、脉冲与数字电路、电子元件器件基础知识以及无线电整机等五大部分。全书共分十七章,第一章晶体二极管和三极管,主要介绍晶体二极管、三极管的基本特性及主要参数;第二章至第十章为模拟电路,包括各种低频和高频放大电路、频率变换电路和直流稳压电路,主要研究这些电路的功能和基本原理;第十一章至第十五章为脉冲数字部分,主要讨论基本数字电路部件以及各种脉冲电路的功能和原理;第十六章为电子元器件的基础知识;第十七章为电子设备整机介绍,主要介绍了超外差收音机和扩音机的电路组成及工作原理。使用本教材时应注意,由于电子技术发展迅速,所牵涉到的知识面广,而且各学校的具体情况不同,因此各校使用本教材时,可根据不同专业、不同对象、不同学制对教材内容进行适当的删减或补充。

本教材由洪荣芬编写第一章至第十章,卞小梅编写第十一章至第十六章,张丽华编写第十七章,由洪荣芬统稿。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

目 录

绪 论	(1)
第一章 晶体二极管和三极管	(3)
§ 1-1 半导体基本知识	(3)
§ 1-2 晶体二极管	(5)
§ 1-3 晶体三极管	(9)
本章小结	(14)
思考题和练习题	(15)
第二章 低频电压放大器	(16)
§ 2-1 基本放大电路及其性能指标	(16)
§ 2-2 基本放大器的分析方法	(18)
§ 2-3 电路参数对工作点的影响	(27)
§ 2-4 静态工作点的稳定及偏置电路	(28)
§ 2-5 多级放大器	(33)
§ 2-6 场效应管放大器	(35)
本章小结	(42)
思考题和练习题	(42)
第三章 负反馈放大器	(46)
§ 3-1 负反馈的基本概念	(46)
§ 3-2 负反馈对放大器性能的影响	(47)
§ 3-3 几种常用负反馈放大电路举例	(52)
* § 3-4 寄生反馈的产生及消除方法	(57)
本章小结	(59)
思考题和练习题	(60)
第四章 功率放大器	(62)
§ 4-1 功率放大器的特点	(62)
§ 4-2 乙类推挽功率放大器	(66)
§ 4-3 无输出变压器的功率放大器	(69)
本章小结	(72)
思考题和练习题	(72)
第五章 集成运算放大器	(74)
§ 5-1 集成运算放大器的基本特性及组成	(74)
§ 5-2 差动放大器	(75)
§ 5-3 集成运算放大器的应用	(81)
§ 5-4 集成运算放大器的主要参数及使用注意事项	(86)
本章小结	(91)
思考题和练习题	(92)

第六章 稳压电源	(94)
§ 6-1 整流与滤波电路	(94)
§ 6-2 稳压管稳压电路	(98)
§ 6-3 晶体管串联型稳压电路	(100)
* § 6-4 单片集成稳压电路	(104)
本章小结	(105)
思考题和练习题	(106)
第七章 调谐放大器与宽带放大器	(107)
§ 7-1 概述	(107)
§ 7-2 晶体管高频等效电路和物理参数	(109)
§ 7-3 小信号谐振放大器	(115)
§ 7-4 宽带放大器	(120)
本章小结	(125)
思考题和练习题	(126)
第八章 正弦波振荡器	(127)
§ 8-1 概述	(127)
§ 8-2 LC反馈振荡器的工作原理	(127)
§ 8-3 LC振荡器	(131)
§ 8-4 RC振荡器	(135)
§ 8-5 高频寄生振荡的抑制	(138)
本章小结	(139)
思考题和练习题	(140)
第九章 高频功率放大器	(142)
§ 9-1 高频功率放大器的特点	(142)
§ 9-2 高频功率放大器的工作原理	(144)
* § 9-3 高频功率放大器的电路结构特点	(150)
本章小结	(151)
思考题和练习题	(151)
第十章 调制、解调与变频	(153)
§ 10-1 调幅器	(153)
§ 10-2 调频器	(157)
§ 10-3 检波器	(160)
§ 10-4 鉴频器	(163)
§ 10-5 自动增益控制	(163)
* § 10-6 自动频率微调	(171)
§ 10-7 变频器	(172)
本章小结	(178)
思考题和练习题	(178)
第十一章 脉冲与数字电路的准备知识	(180)
§ 11-1 概述	(180)

§ 11-2 简单RC电路的过渡过程	(182)
§ 11-3 晶体管的开关特性	(187)
§ 11-4 晶体管反相器	(189)
本章小结	(193)
思考题和练习题	(194)
第十二章 逻辑门电路	(197)
§ 12-1 三种基本逻辑运算	(197)
§ 12-2 分立元件门电路	(198)
§ 12-3 集成门电路	(202)
本章小结	(208)
思考题和练习题	(209)
第十三章 触发器	(211)
§ 13-1 基本触发器	(211)
§ 13-2 主从触发器	(215)
§ 13-3 维阻式触发器	(220)
§ 13-4 应用集成触发器的几个实际问题	(223)
本章小结	(224)
思考题和练习题	(224)
第十四章 基本数字电路部件	(226)
§ 14-1 寄存器	(226)
§ 14-2 计数器	(229)
§ 14-3 译码器与显示电路	(234)
本章小结	(239)
思考题和练习题	(239)
第十五章 脉冲电路介绍	(242)
§ 15-1 TTL “与非” 门的输入电阻和输出电阻	(242)
§ 15-2 单稳电路	(243)
§ 15-3 多谐振荡器	(246)
§ 15-4 施密特触发器	(247)
本章小结	(249)
思考题和练习题	(250)
第十六章 电子元器件基础知识	(251)
§ 16-1 电阻器和电位器	(251)
§ 16-2 电容器	(256)
§ 16-3 电感器及变压器	(261)
§ 16-4 具有特殊功能的半导体器件	(264)
§ 15-5 电声器件	(266)
§ 16-6 其他	(268)
本章小结	(271)
思考题和练习题	(271)

第十七章 电子设备整机介绍	(272)
§ 17-1 扩音机	(272)
§ 17-2 收音机	(277)
§ 17-3 无线话筒	(285)
本章小结	(287)
思考题和练习题	(288)

绪 论

一、电子技术的发展和应用

近几十年来,电子技术的发展十分迅速,大致经历了四个阶段:第一阶段为电子管阶段,由于电子管本身体积大,使电子设备的体积庞大,设备显得笨重。第二阶段为晶体管阶段,从1948年出现了晶体管之后,仅十多年的时间,就使电子设备的小型化有了很大的进展。第三阶段以1962年第一块集成电路问世为标志,进入了小规模和中规模集成电路阶段。所谓小规模集成电路就是把构成一个电路的十几个元器件和电路连线合为一体,做在一块(几平方毫米)硅片上,到1966年已经能制成数百个元器件集成在一起的中规模集成电路。第四阶段为大规模和超大规模集成电路阶段,1970年出现了把上千个元器件集成在一起的大规模集成电路。随着大规模集成电路的应用,使电子设备的体积、重量大大减小,设备的可靠性大大提高,成本大大降低。集成电路的出现打破了由分立元件组成电路的传统做法,使电子技术的发展与应用产生了新的突破。

电子技术最早应用于通信、广播方面,随着科学技术的不断发展,电子技术的应用日益广泛,它已渗透到国民经济的各个部门、国防和科学技术的各个领域及人类社会生活的各个方面。

在现代科学研究中,先进的科学仪器设备,几乎没有不采用电子技术的。电子计算机是科研人员进行科学计算、数据贮存、辅助设计的得力助手。电子技术在工业生产和工程施工方面的应用,主要是生产和施工的综合自动化,实际上就是电子计算机化。电子计算机可以进行辅助设计,在人的设计思想指导下,用计算机进行资料和数据检索、运算,得出产品或工程的最优化设计方案。电子技术同其他工业技术结合,将开发出一系列新产品。如电子技术同机械技术的结合引起机械工业的巨大变革,原来手表和计算机都是机械产品,应用电子技术以后就产生了全电子产品。全电子产品具有精度高、质量好、价格便宜的优点。在交通运输的控制和自动化管理方面应用了很多电子技术。电子技术在农业方面的应用也很多,如农机作业、气象、种子处理、病虫害预报等等,都离不开电子技术。

电子技术在国防上的应用更广,在侦察敌情、预报空袭、测距测高、全球通信、卫星发射与回收、导弹的航行及寻找目标等等,都要应用电子技术。

可以预见,伴随着电子科学技术的发展,尤其是超大规模集成电路的发展与应用,必将大大加速各种电子设备和系统小型化的进程,从而给应用电子技术的各个领域带来更深远的影响。

二、本课程的任务与主要内容

本课程是中等专业学校电子设备结构设计专业学生的一门电路基础知识课。通过本课程的学习,使结构设计人员在进行结构设计时具备必要的电路基础知识。要求学生掌握有关物理概念、电路分析方法以及有关单元电路的功能和原理。

全书共分十七章。第一章晶体二极管和三极管,为本课程的基础知识部分,主要讨论半导体的基本知识以及晶体二极管、三极管的基本特性及主要参数;第二章至第十章为模拟部分,包括低频和高频各种放大电路、频率变换电路和直流稳压电路的功能和原理;第十一章

至第十五章为脉冲数字部分，主要讨论各种门电路、触发器，基本数字电路部件以及各种脉冲电路的功能和原理。第十六章为电子元器件的基础知识。第十七章对电子设备整机进行介绍，通过本章学习，使读者对电子设备整机有一完整的概念，能够了解整机各部分的特点，从而为整机结构设计打下一定的理论基础。

第一章 晶体二极管和三极管

§ 1-1 半导体基本知识

晶体管是晶体管电路中的关键元件，在学习晶体管电路之前，必须首先了解晶体管的基本特性。由于晶体管是用半导体材料制成的，因此，要了解晶体管的基本特性，先得了解半导体的特性。

一、什么是半导体

在自然界中，存在着许多不同的物质，各种物质的导电性能各不相同，有些物质，如银、铜、铝等金属材料很容易传导电流，把这些物质称为导体。也有些物质，如塑料、陶瓷、橡胶等，几乎不传导电流，尽管加上很高的电压，也不会产生电流，将这类物质称为绝缘体。但还有一些物质，它的导电性能介于导体和绝缘体之间，如硅、锗等，把这类物质称为半导体。

二、半导体的结构

为什么会出现有的物质很容易导电，而有的物质不容易导电这种现象呢？最根本的原因在于物质内部的原子结构不同。

我们知道，物质是由分子组成的，分子是由原子组成的，而原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成的，电子分几层围绕原子核作不停的运动。在金属导体中，原子的外层电子受原子核的束缚力最小，因此，有大量电子能够挣脱原子核的束缚而成为自由电子。这些自由电子就成为运载电荷的载流子，它们在外电场的作用下，作定向运动而形成电流。所以金属的导电性能良好。

而在绝缘体中，原子的外层电子受原子核的束缚力很大，很不容易摆脱原子核的束缚，因此，形成自由电子的机会非常小。所以绝缘体的导电性能很差。

半导体材料的原子结构比较特殊，其外层电子既不象导体那样容易挣脱，也不象绝缘体那样束缚很紧，这就决定了它的导电性能介于导体和绝缘体之间。

1. 硅和锗的原子结构

硅和锗的原子结构如图1-1所示，由原子结构图可以看出它们的特点是最外层电子都是4个，通常，原子的外层电子叫做价电子，有几个价电子就叫几价元素，所以硅和锗都是4价元素。但是，它们的电子层数不同，硅原子只有三个电子层，而锗原子却有四个电子层，因此，硅原子的4个价电子受原子核的束缚力要比锗原子的4个价电子大，相比之下，锗原子的价电子比硅原子的价电子更易成为自由电子。

2. 本征半导体

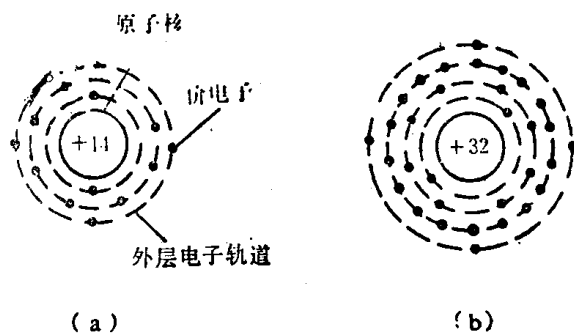


图1-1 硅和锗的原子结构图
(a)硅原子结构 (b)锗原子结构

所谓本征半导体，就是不含杂质的纯净半导体。

当硅和锗半导体材料经过一定的工艺提炼后，内部原子排列起来构成整齐的晶体——单

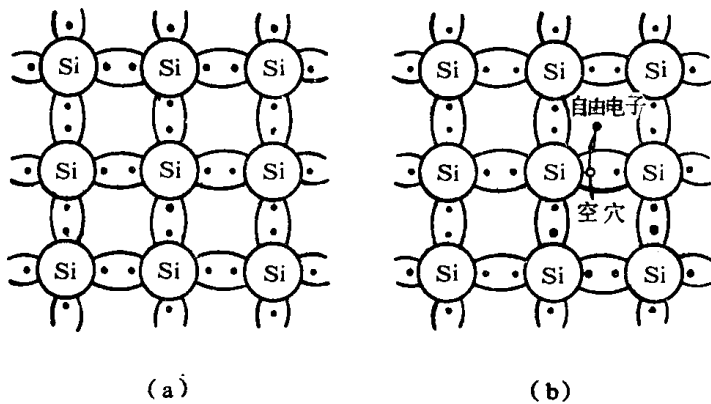


图1-2 硅单晶共价键结构与电子-空穴对

(a)共价键结构 (b)电子-空穴对

晶体时，就会出现一种新的现象：外层电子不仅受到本身原子核的作用，同时还要受到邻近原子的作用，这时，每两个相邻的原子之间都共有一对电子，电子对中的任何一个电子，一方面围绕自身原子核运动，另一方面也时常出现在相邻的原子所属的轨道上，这样的结构叫做共价键结构。如图1-2(a)所示为硅单晶共价键结构的平面示意图。

硅或锗的共价键结构的特点

是：外层价电子所受到的束缚力

并不象绝缘体那样大，在一定温度下，由于热运动，其中少数价电子挣脱原子核的束缚而成为自由电子，同时在原来共价键的位置上，留下相同数量的空位子，这种现象叫做本征激发。在本征半导体中，每激发出一个自由电子，就必然留下一个空位子，这种空位子叫做空穴。因此，电子和空穴总是相伴而生、成对出现的，称之为电子-空穴对。见图1-2(b)。

当一个价电子成为自由电子后，同时产生了一个空穴。原子本来是电中性的，当失去一个带负电的电子后，留下的空穴相当于一个正电荷。有了这样一个带正电的空穴，附近的价电子就很容易跳过来填补这个空穴，这时空穴就转移到邻近的原子上去了。价电子填补空穴的运动，在效果上如同一个带正电荷的空穴在价电子跳动的相反方向上运动一样。为了区别于带负电的自由电子的运动，把价电子填补空位的运动叫做“空穴”运动。

自由电子在运动中又会与空穴重新结合而消失，这是一种与上述运动相反的运动过程，称为复合。电子-空穴对又产生、又复合，在一定温度条件下始终维持一定的数目，实现相对平衡。

3. 杂质半导体

本征半导体虽然多了空穴载流子，但是从具有良好导电能力的要求来看，还相差很远，因此本征半导体用处不大。如果在本征半导体中掺入少量的有用杂质，会使半导体的导电特性得到很大的改善。由于这个特性，使半导体获得了重要的应用。例如，在硅单晶体中掺入少量的硼，就使半导体中空穴载流子的数目剧增，导电特性大大加强，这是为什么呢？

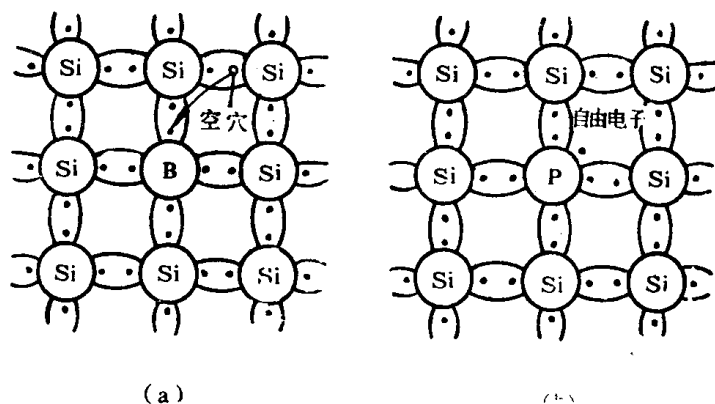


图1-3 共价键结构示意图

(a)硅中掺硼形成P型半导体

(b)硅中掺磷形成N型半导体

图1-3(a)为硅原子与掺入的硼原子组成的共价键结构示意图。

由于掺入硼原子的数目比硅原子要少得多,因此整个晶体结构基本不变,硼原子是三价元素,即外层只有三个电子,所以当它与硅原子组成共价键时,因缺少一个电子,在晶体中便产生一个空位,当相邻共价键上的电子受到热振动或在其他条件下获得能量时,就有可能填补这个空位,而原来硅原子的共价键则因缺少一个电子,形成了空穴,这样,掺入一个硼原子就能提供一个空穴。在该半导体中,有杂质给出的空穴和本征激发产生的电子-空穴对,从而空穴载流子数远大于电子数,空穴是多数载流子(简称多子),电子是少数载流子(简称少子)。这种杂质半导体主要靠空穴来导电,称为P型半导体。

如果在硅单晶体中掺入少量的五价元素,如磷或锑,那么,情况与上面又不一样了,磷原子外层的五个电子,由四个电子组成共价键,而多出的一个电子受原子核的束缚很小,因此,很容易成为自由电子。在这种半导体中,电子载流子数目增多,电子是多子,空穴是少子,主要靠电子导电,把这种半导体称为N型半导体。如图1-3(b)所示。

§ 1-2 晶体二极管

一、PN结的单向导电特性

单纯的一块P型半导体或N型半导体,只能作为一个电阻元件,而不能做成所需要的晶体管器件。但是,如果把P型半导体和N型半导体通过一定方法结合起来,那么在两者交界处就会形成一层很薄的特殊区域称空间电荷区,亦称PN结。PN结是构成晶体二极管、三极管等很多半导体器件的基础。因此,首先对PN结的特性应有较好的了解。

1. PN结两端加上正向或反向电压的实验

验PN结加正向电压如图1-4(a)所示,PN结的P区接直流电源的正极,N区接电源的负极,这种接线方式为正向连接。PN结中形成的电流为正向电流。

PN结加反向电压如图1-4(b)所示,PN结的P区接直流电源的负极,N区接电源正极,这种连接为PN结的反向连接,电路中的电流为反向电流。

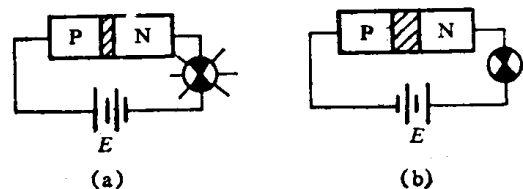


图1-4 PN结单向导电性实验电路

(a) 加正向电压 (b) 加反向电压

通过PN结正反向连接实验发现,在正向连接时,PN结呈现的电阻很小,流过灯泡的正向电流很大,灯泡发亮。而在反向连接时,PN结呈现的电阻很大,流过灯泡的反向电流很小,灯泡不亮。

如果用电阻R代替PN结时,不管电源是正接还是反接,灯都一样亮。该现象说明,PN结与普通电阻不同,它具有单向导电特性。由于这种单向导电特性,使PN结获得了重大的用途。

2. 扩散运动与漂移运动

为什么PN结具有单向导电特性呢?这是由PN结内部的结构所决定的。

当P型和N型半导体结合在一起时,由于两种半导体中电子和空穴的浓度相差很大,浓度大的地方向浓度小的地方进行扩散。电子从浓度大的N区向浓度小的P区扩散,在P区交界面附近与空穴复合。N区由于失去电子而带正电(形成正离子),P区则由于得到电子而带负电(形成负离子)。同样,空穴从浓度大的P区向浓度小的N区扩散,在N区交界面附近

近与电子复合，使N区正离子增多；而P区因失去空穴，使其负离子增多。由于正、负电荷之间的相互吸引，使正、负离子都集中分布在交界面附近，结果在交界面两边分别出现了正、负离子组成的空间电荷区，产生一个由N指向P的内电场。如图1-5所示。

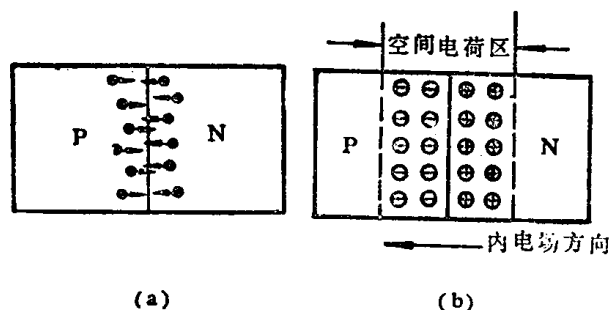


图1-5 载流子的扩散运动和PN结形成
(a)多数载流子的扩散运动 (b)PN结的形成

随着内电场的形成，将对多数载流子的进一步扩散起着阻碍作用，它阻止N区的多数载流子电子向P区扩散；同样也阻止P区的多数载流子空穴向N区扩散，使扩散运动逐渐减弱。

由于内电场的存在，将使P区的少数载流子电子向N区运动；N区的少数载流子空穴向P区运动。为了区别于因浓度差而形成的多数载流子的扩散运动，把少数载流子在电场作用下的运动，叫做漂移运动。这样在交界处存在着两种对立的运动。开始时，由于浓度差别大，扩散占优势，但随着扩散运动的进行，空间电荷区变厚，内电场加强，使得漂移运动加强，扩散运动减弱，当扩散与漂移两种运动相互平衡时，N区向P区扩散过去多少电子，同时就有同样数目的电子被电场拉回N区；P区的空穴也是一样，于是，交界面的两边处于动态平衡，此时，空间电荷不再变化，形成具有一定厚度的空间电荷区，这就是PN结。

3. PN结的单向导电特性

当PN结外加电压时，就会破坏它的相对平衡。因为当PN结加正向电压（P区接电源正极，N区接电源负极）时，外加电源所产生的外电场方向与内电场方向相反，因而削弱内电场，使空间电荷区变窄，多子的扩散运动超过内电场作用下少子的漂移运动，有利于扩散进行，这样，使多数载流子就能顺利地通过PN结，形成较大的正向电流，所以PN结在加正向电压时呈现的电阻很小。

如果在PN结上加反向电压（即P区接电源负极，N区接电源正极），这样外加电场的方向与内电场的方向相同，使空间电荷区加宽，扩散运动的阻力加大，使扩散无法进行。漂移运动超过扩散运动，少数载流子在外电场力的作用下，通过PN结漂向对方，形成一个很小的反向电流。所以PN结在外加反向电压时呈现的电阻很大，PN结基本上不导电。这就是PN结的单向导电特性。

二、晶体二极管的伏安特性和参数

1. 二极管的结构和分类

晶体二极管就是由一个PN结加上相应的电极引线和管壳做成的。通常用符号 $\rightarrow$ 来表示。箭头表示正向电流方向。由于功能和用途的不同，二极管的外形各异，一般可作如下分类：

(1) 按PN结的材料分类，可分为锗二极管和硅二极管。前者工作温度较低，一般制成中、小功率二极管，如2AP系列的二极管；硅二极管允许工作温度较高，可制成中、大功率二极管，如2CP和2CZ系列的二极管。

(2) 按结构分类，可分为点接触和面接触二类。点接触二极管由于接触面很小，不能通过很大的正向电流和承受较高的反向电压，但它的工作频率较高，常用来作为检波。而面接触二极管的PN结面积大，能允许通过较大的电流，也能承受较高的反向电压，所以可作为整流器件。

(3) 按用途分类，可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、变容二极管和开关

二极管等。

2. 晶体二极管的伏安特性

二极管的种类虽然很多,但它们都具有相似的伏安特性。所谓二极管的伏安特性是反映加到二极管两端的电压 U 与流过二极管的电流 I 的关系。通常用横坐标表示电压 U (单位为伏),用纵坐标表示电流 I (单位为毫安),典型的二极管伏安特性如图1-6所示。下面来分析伏安特性曲线。

(1) 特性曲线通过坐标原点

因为当外加电压 U 为零时,PN结处于动态平衡状态,没有电流通过外电路,即 $I=0$ 。

(2) 正向特性

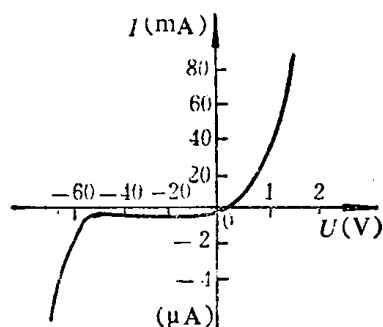


图1-6 二极管伏安特性曲线

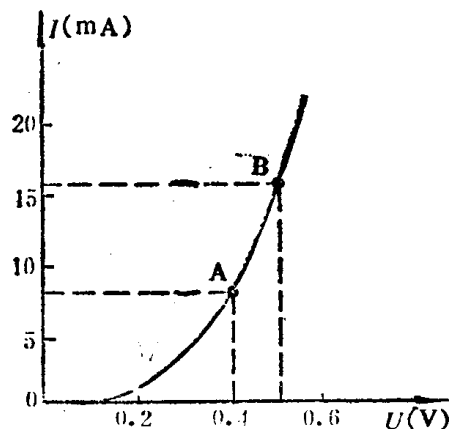


图1-7 通过二极管伏安特性求直流电阻

当二极管两端加以正向电压后,就会产生正向电流,但是当正向电压比较小时,由于外电场还不足以克服内电场对载流子扩散运动的阻力,因此,这时的正向电流比较小,PN结正向电阻比较大。当正向电压继续增加,外电场不断增大,内电场不断削弱,当正向电压超过一定数值以后,PN结电阻很小,正向电流急剧增加,使正向特性陡峭上升。

二极管正向特性中,正向电流开始有较大增加时的正向电压,叫做门槛电压(或导通电压),锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{V}$,硅管约为 $0.6\sim 0.7\text{V}$,这是锗管和硅管的显著区别。

(3) 反向特性

当二极管外加反向电压时,由于在P型半导体中还存在着少数载流子电子,在N型半导体中存在着少数载流子空穴。这些少数载流子在反向电压作用下很容易通过PN结,形成很小的反向电流。反向电流有两个特点,第一个特点是随温度的增加而增长得很快,这是由于少数载流子的数量随温度增加按指数规律迅速增长的缘故;第二个特点是反向电流基本上不随反向电压而改变,在一定温度下,由本征激发产生的少数载流子总数一定,外加反向电压稍大一点,即可使全部少数载流子参与导电,再加大反向电压,反向电流也不再增加,故把该反向电流称为反向饱和电流。

当外加反向电压超过一定数值后,反向电流突然猛增,称为二极管的反向击穿,这时所对应的电压称为击穿电压。

3. 晶体二极管的主要参数

二极管的参数可以表征二极管的性能和使用特点,同时可以作为选择管子的主要依据,它的主要参数如下:

(1) 直流电阻 R (静态电阻)

二极管两端所加直流电压与流过二极管的直流电流之比,叫做晶体二极管的直流电阻。由图1-7可得

$$R = \frac{U}{I}$$

若二极管工作在A点, 对应的 $U_A = 0.4V$, $I_A = 8mA$, 则在A点的直流电阻为:

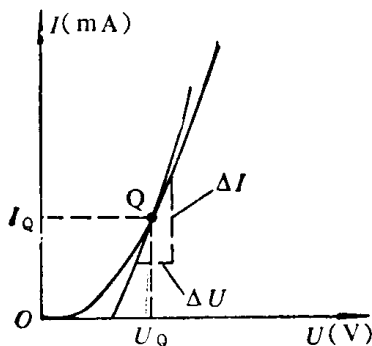


图1-8 交流电阻的几何意义

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{0.4V}{8 \times 10^{-3}A} = 50\Omega$$

二极管的直流电阻随工作点的不同而不同, 在B点的直流电阻与A点不同。因此二极管为非线性器件。

(2) 交流电阻 r

二极管在小信号工作情况下, 需要用交流电阻这一参数。交流电阻的定义是: 二极管特性曲线上工作点附近电压的变化量与相应的电流变化量之比,

即 $r = \Delta U / \Delta I$ 。它的几何意义是二极管伏安特性曲线在工作点的斜率倒数。见图1-8所示。

用作图法求交流电阻 r 时, 可在特性曲线上工作点Q处画曲线的一条切线, 取一小增量 ΔU 与 ΔI , 其比值就是 r 。例如

$$\Delta U = 0.16V \quad \Delta I = 14mA$$

则有

$$r = \frac{0.16V}{14 \times 10^{-3}A} = 11.4\Omega$$

由于二极管伏安特性曲线是非线性的, 因此不同的工作点切线斜率不同, 二极管的动态电阻也不同。

二极管的正向动态电阻很小, 一般约几到几十欧。这说明正向电压增加一点, 正向电流将增加很多。但反向动态电阻却极大, 一般在几百千欧以上, 这表示即使反向电压增加很多, 反向电流却很少增加。

(3) 最大整流电流 I_{DM}

I_{DM} 是二极管长期工作时允许通过的最大正向电流。因为电流流过PN结要耗散一定的功率, 使PN结温度升高。当电流太大时, 就会使PN结烧坏。为了使二极管能正常工作, 因此二极管整流时的工作电流不能超过 I_{DM} 。

(4) 反向击穿电压 U_B

当加在二极管上的反向电压太高时, 就会产生击穿现象。在反向击穿时, 流过二极管的电流急剧增大, PN结很容易烧坏。因此在使用时, 所加的反向电压不应超过反向击穿电压 U_B 。

(5) 反向饱和电流

它是指管子未击穿时反向电流的大小。该电流数值愈小, 则管子的单向导电性愈好。反向饱和电流的大小与温度有关, 当温度增加时, 反向电流会急剧增加, 因此在使用管子时, 应注意温度的影响。

(6) 结电容

当PN结两端接正向电压时, 其交界面两边的空间电荷量将减小, 而且正向电压越大, 空间电荷量减小越多; 当接反向电压时, 其交界面两边的空间电荷量将增大, 反向电压越大, 空间电荷量增加越多。这和电容器的充放电一样, 因此PN结相当于一个充了电的平板电容器。此电容叫做结电容, 它并联在结电阻两端。

电容不能通直流电，但对高频的容抗却很小，故结电容的存在，使二极管的工作频率受到限制。当高频电压加在二极管的两端，瞬时极性为反方向连接时，PN结反向电阻很大，但结电容对高频的容抗很小，高频电流可以从结电容通过，这样就破坏了PN结对高频信号的单向导电特性。因此在高频使用时，必须选择结电容小的二极管。

§ 1-3 晶体三极管

晶体三极管，简称三极管，它是晶体管电路中的关键元件，它具有放大电信号的作用。要了解晶体管的放大作用，必须先了解晶体管的基本结构。晶体二极管是由一个PN结做成的，而晶体三极管是由两个相距很近的PN结组成的，它有三根引出线，当两个PN结结合在一起时，由于两个PN结之间的相互影响，使三极管表现出不同于单个PN结的特性，它具有电流放大功能。

一、晶体三极管结构简介

三极管的种类很多，按频率分：有高频管、低频管；按功率分：有小功率管、大功率管；按所用半导体材料分：有硅管、锗管等。但是，不管怎么分类，三极管都有三个电极。常见的三极管外形如图1-9所示。

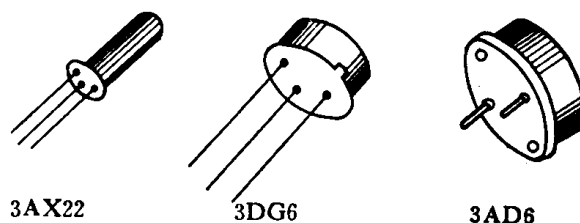


图1-9 几种三极管的外形

根据结构不同，三极管一般可分成两种类型：NPN和PNP。如图1-10所示。

由图1-10可见，晶体三极管有两个PN结和三个区。中间为基区，两边分别为发射区、集电区，从这三个区引出相应的电极，称为基极、发射极和集电极，在三个区的交界面处形成了两个PN结，处于发射区和基区之间的称为发射结，处于基区和集电区之间的称为集电结。

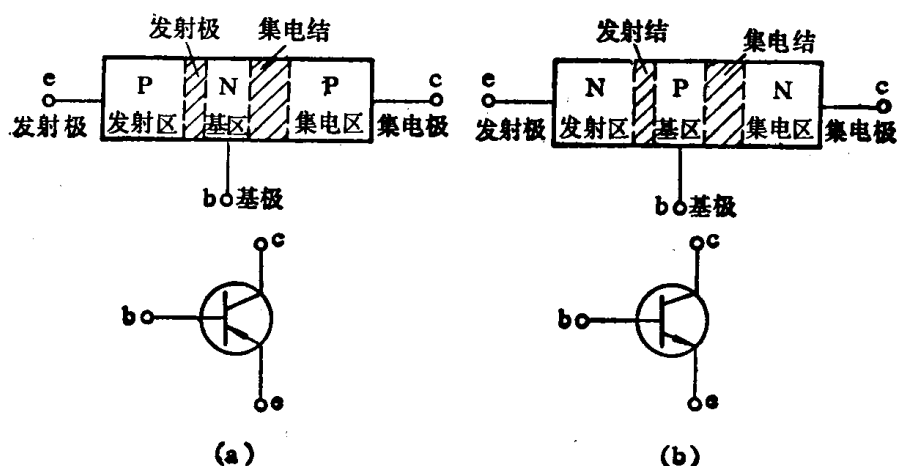


图1-10 晶体管的结构形式和符号

(a) PNP型

(b) NPN型

PNP和NPN两类管子在符号上的区别在于发射极箭头的方向不同，它表示了发射结在正向接法下的电流方向，因此PNP型的发射极箭头向里，而NPN型箭头向外。

不论是NPN型还是PNP型，基区都做得很薄（几微米~几十微米），发射区杂质浓度大，基区和集电区的杂质浓度比较低，所以发射区提供的多数载流子大大超过其它区的多数