

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
计算机应用专业教学用书

计算机电路基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 摇组编
中国机械工业教育协会

主摇编摇纪开荣

副主编摇孙立坤

参摇编摇马描玲摇邱丽波

摇摇摇摇周育才摇白俊平

摇摇摇摇曹建生摇宋月丽

主摇审摇陈江红

摇



机械工业出版社

本书主要内容包括模拟电路和数字电路两个部分，侧重数字电路，除此之外，考虑实训的要求又编进实训的内容供选用。

模拟电路部分介绍基本器件，基本放大电路，运算放大器，计算机电源；数字电路部分介绍数字电路基础，基本门，复合门，组合逻辑电路，触发器，时序逻辑电路，译码器，转换转换器，半导体存储器及脉冲发生器等内容。

在编写过程中，为了提高学生的实践能力，特编写了加强学生工程实践能力的有关内容。每章后均有习题。本书可作为高职高专计算机应用、电子信息等专业的教材，也可作为相关专业的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机电路基础 王开荣主编 北京：机械工业出版社，2005
教育部职业教育与成人教育司推荐教材 计算机应用专业教学用书
隋东军 陈永刚 陈国惠

I ①计 Ⅱ 王开荣 Ⅲ ①计算机—电子电路—高等学校：技术学校—教材 Ⅳ ①计算机

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 000000 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：孔熹 版式设计：冉晓华 责任校对：申春香
策划编辑：王世刚、王玉鑫 封面设计：姚遥 责任印制：

印刷厂印刷

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
16 开 印张 10 张 100 千字
定价：20.00 元

凡购本书，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) 68995198

本社服务热线电话：(010) 68995198

本社服务邮箱：zhaoshou@mechanical.com.cn

投稿热线电话：(010) 68995198

投稿邮箱：zhaoshou@mechanical.com.cn

封面防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴摇李超群摇惠新才摇王世刚摇姜立增
李向东摇刘大康摇鲍风雨摇储克森摇薛摇涛

计算机应用专业教材编审委员会

姜立增摇张卫东摇廖哲智摇王摇伟摇纪开荣
陈江红摇李怀刚摇刘丽莉摇张摇运摇陈一民
李丕瑾摇魏慧琴摇章摇锐摇周岳山摇于摇明
佟震亚摇赵晓玲

前 摇 摇 言

本书是根据全国机电类高等职业技术教育专业指导委员会制定的计算机专业教学计划而编写的。

本书主要由模拟电路和数字电路两部分组成。为适应实训的要求，编写了相应的实训内容，供各校结合实际情况选用。

编写中以培养技能为主线，以提高动手能力为目的；在理论上以“必需”、“够用”为度，尽量减少不必要的理论推导，尽可能多地编进实际应用方面的内容。

本书结合专业的需要侧重数字电路。模拟电路部分侧重于器件的应用、检测，并根据专业的特点详尽介绍了计算机电源及其维护的内容。数字电路部分在编写过程中尽量同计算机相联系，对数字器件侧重于使用、选择、检测的内容。实训在本书中作为一章，安排了三节内容，即常用电子仪器使用、模拟电路部分实训、数字电路部分实训，共 3 个项目。

建议理论部分课时为 ~~100~~ ~~100~~ 学时，实训部分为 ~~100~~ ~~100~~ 学时。本书可作为高职高专计算机应用、电子信息及相近专业的教学用书，也可作为相关专业的教学参考书。

本书由辽宁机电职业技术学院纪开荣任主编，编写了第四、五、十二章；大连职业技术学院孙立坤任副主编，编写了第八、十、十一章；太原理工大学长冶分院马描玲编写了第一章；烟台职业技术学院邱丽波编写了第二章；上海机电专科学校周育才编写了第三章；河北职业技术学院白俊平编写了第六章；河南职业技术学院曹建生编写了第七章；辽宁机电职业技术学院宋月丽编写了第九章。全书由纪开荣统稿。

本书由福建工程学院陈江红任主审，对全书的修改提出了宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中内容难免有错误和不当之处，殷切希望各相关教学单位和读者在使用本书的过程中给予批评指正。

编 摇 者

目 录

前言		摇第四节摇集成门电路	员圆
第一章摇二极管及晶体管	员	摇第五节摇特殊功能集成门电路	员猿
摇第一节摇半导体基本知识	员	摇第六节摇逻辑函数的化简	员苑
摇第二节摇二极管	源	摇本章小结	员苑
摇第三节摇双极型晶体管	怨	摇习题	员苑
摇第四节摇场效应晶体管	员苑	第六章摇组合逻辑电路	员圆
摇第五节摇光耦合器	圆源	摇第一节摇概述	员圆
摇本章小结	圆苑	摇第二节摇编码器	员缘
摇习题	圆苑	摇第三节摇译码器	员怨
第二章摇基本放大电路	猿圆	摇第四节摇数据分配器和数据选择器	员猿
摇第一节摇放大电路的基本概念	猿圆	摇第五节摇数据比较器	员远
摇第二节摇共射极放大电路	猿猿	摇第六节摇奇偶校验器	员愿
摇第三节摇共集电极放大电路	源猿	摇第七节摇加法器	员圆
摇第四节摇场效应晶体管放大电路	源缘	摇第八节摇用中规模集成电路进行 逻辑设计	员员
摇第五节摇多级放大电路	缘圆	摇第九节摇组合逻辑电路的竞争和冒险	员源
摇本章小结	缘猿	摇本章小结	员远
摇习题	缘源	摇习题	员远
第三章摇运算放大器	缘怨	第七章摇触发器	员怨
摇第一节摇概述	缘怨	摇第一节摇基本 砸触发器	员怨
摇第二节摇差动放大器	远	摇第二节摇同步触发器	圆
摇第三节摇功率放大器	远	摇第三节摇主从触发器	圆缘
摇第四节摇集成运算放大器的应用	苑	摇第四节摇触发器的分类及转换	圆怨
摇第五节摇电子电路中的反馈	愿	摇本章小结	圆猿
摇第六节摇正弦波发生器	怨	摇习题	圆猿
摇本章小结	员圆	第八章摇时序逻辑电路	圆愿
摇习题	员圆	摇第一节摇概述	圆愿
第四章摇计算机电源	员愿	摇第二节摇时序逻辑电路的分析	圆怨
摇第一节摇交流电源	员愿	摇第三节摇寄存器	圆苑
摇第二节摇直流稳压电源	员圆	摇第四节摇计数器	圆
摇第三节摇开关稳压电源	员远	摇本章小结	圆源
摇第四节摇计算机主机电源盒	员怨	摇习题	圆缘
摇本章小结	员苑	第九章摇脉冲信号的产生及其波形 变换	圆愿
摇习题	员愿	摇第一节摇脉冲信号和 缘缘定时器	圆愿
第五章摇数字电路基础	员圆	摇第二节摇多谐振荡器	圆
摇第一节摇概述	员圆	摇第三节摇施密特触发器	圆
摇第二节摇基本逻辑及基本门	员远		
摇第三节摇复合逻辑及复合门	员圆		

摇第四节摇单稳态触发器	圆缘	摇第二节摇只读存储器 (砸粤)	圆源
摇本章小结	圆园	摇第三节摇随机存取存储器 (砸粤)	圆园
摇习题	圆园	摇第四节摇可编程器件 (孕粤)	圆缘
第十章摇数模和模数转换器	圆园	摇本章小结	圆远
摇第一节摇概述	圆园	摇习题	圆苑
摇第二节摇数模 (阅粤) 转换器	圆园	第十二章摇实训	圆愿
摇第三节摇模数 (粤粤) 转换器	圆苑	摇第一节摇常用电子仪器的使用	圆愿
摇本章小结	圆园	摇第二节摇模拟电路实训	圆愿
摇习题	圆猿	摇第三节摇数字电路实训	猿缘
第十一章摇半导体存储器	圆源	参考文献	猿远
摇第一节摇概述	圆源		

第一章 二极管及晶体管

第一节 半导体基本知识

半导体器件是电子电路中的重要组成部分，常用到的有二极管、晶体管、运算放大器等，它们都是由半导体材料制成的。由于半导体器件具有体积小、重量轻、耗电少、寿命长、工作可靠等一系列优点，因而得到了广泛应用。要掌握各种器件的结构和工作性能，就必须首先了解有关半导体的基本知识。

物质根据导电能力的强弱，可以分为导体、半导体、绝缘体和超导体，半导体导电能力介于导体与绝缘体之间，如硅、锗、硒以及大多数金属氧化物都是半导体。通过对半导体的研究发现，它的导电能力随温度、光照条件和掺入杂质的不同而有显著的变化，即半导体具有热敏、光敏、杂敏等特性。特别是杂敏特性：在纯净的半导体中掺进微量的某种杂质，可以使其导电性能大大增强。例如在纯硅中掺入 10^{-6} 的硼，可使其导电性能增加几十万倍以上。为什么半导体有如此强的杂敏特性呢？

一、本征半导体

将锗或硅材料提纯后形成的完全纯净、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。现代电子产品中用得最多的半导体材料是硅（ Si ）和锗（ Ge ），它们都是四价元素，即最外层轨道上的电子都是四个。当硅或锗被制成晶体时，每个原子最外层的四个价电子与相邻的四个原子发生联系，每两个相邻的原子都有一对共有的价电子，形成共价键，共价键使原子最外层的电子数达到八个，满足了稳定条件。图 1-1 所示为单晶硅的共价键结构。

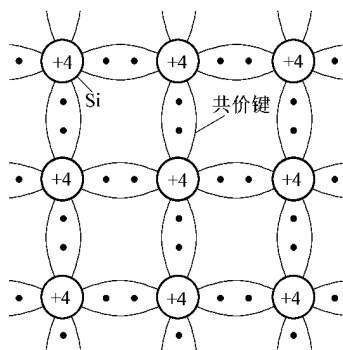


图 1-1 单晶硅的共价键结构

半导体的导电能力在不同条件下有很大差别。一般来说，本征半导体相邻原子间存在稳固的共价键，导电能力并不强。半导体的这种与导体和绝缘体截然不同的导电特性是由它的内部结构和导电机理决定的。在半导体结构中，价电子（原子的最外层电子）不像在绝缘体中那样被束缚得很紧，在获得一定能量（温度增高、受光照等）后，即可摆脱原子核的束缚（电子受到激发），成为自由电子，而共价键中留下的空位称为空穴，如图 1-2 所示。在一般情况下，原子是呈中性的，当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，原子的中性被破坏，显示带正电。中性的原子失去一个电子后形成空穴，因此也可以认为空穴带正电。

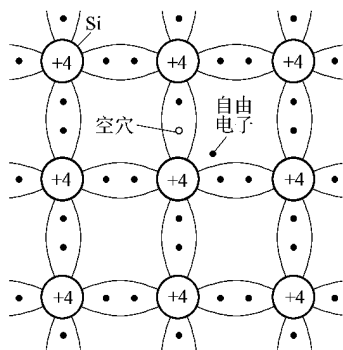


图 1-2 自由电子和空穴的形成

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，在半导体中将出现两部分电流：一是自由电子作定向运动形成的电子电流，一是仍被原子核束缚的价电子（不是自由电子）填补空穴形成的空穴电流。也就是说，在半导体中存在自由电子和空穴两种载流子，这是半导体和金属在导电机理上的本质区别。

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现，同时又不不断复合，在一定温度下达到动态平衡，载流子便维持一定数目。温度愈高，载流子数目愈多，导电性能也就愈好。所以，温度对半导体器件性能的影响很大。纯净的半导体导电能力差，但利用其杂敏特性，在本征半导体中有控制、有选择地掺入微量的有用杂质，就能制成具有特定导电性能的掺杂半导体。

二、晕型半导体和 孕型半导体

晕型半导体

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的五价元素，例如磷（孕）、砷（粤孕）或锑（杂孕），由于掺入的数量极少，所以本征半导体的晶体结构不会改变，只是晶体结构中某些位置上的硅原子被磷原子取代，当这些磷原子与相邻的四个硅原子组成共价键时，将多余一个电子，如图 员圆所示。多余的一个价电子很容易获得能量，比其他共价键上的电子更容易脱离原子核的束缚而成为自由电子，所以在这种半导体中有更多的自由电子，这就显著提高了其导电能力。这些电子脱离原子核的束缚成为自由电子后并不能形成共价键上的空穴，而共价键上的电子在获得能量后仍然要脱离原子核的束缚形成自由电子、空穴对。由于这种半导体中自由电子的数量多，载流子浓度远大于本征半导体，所以这种半导体的主要导电方式是电子导电，故称其为电子型半导体或 晕型半导体。在 晕型半导体中，自由电子为多数载流子，简称为多子；空穴为少数载流子，简称为少子。

孕型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素，例如硼（月）、铟（陨）、铝（粤孕）、镓（陨孕）等，由于掺入的数量极少，所以不会改变硅的晶体结构。当这些原子与相邻的四个硅原子组成共价键时，将少一个电子，如图 员圆所示。由于缺少一个电子，达不到稳定状态，因此就要夺取相邻原子的外层电子，相邻原子失去电子就形成了空穴，这样，半导体中就出现大量的空穴。由于这种半导体中空穴数量很多，导致载流子浓度远大于本征半导体，其主要导电方式

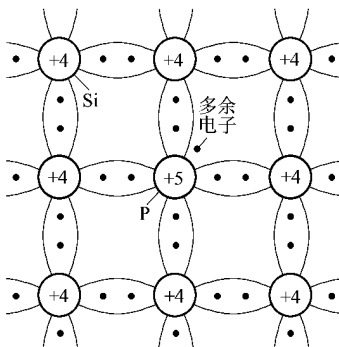


图 员圆 晕型半导体的形成

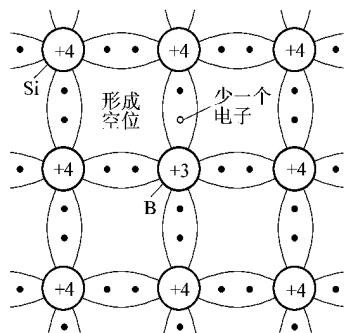


图 员圆 孕型半导体的形成

是空穴导电，故称其为空穴型半导体或 **孕型** 半导体。在 **孕型** 半导体中，多数载流子是空穴，少数载流子是自由电子。

应当注意的是，不论 **晕型** 还是 **孕型** 半导体，虽然它们都有一种载流子占多数，但整个晶体材料仍然呈电中性。这是因为本征半导体和杂质元素的每一个原子都是中性的，所以进行掺杂后仍然是中性的。

三、**孕晕** 结

孕型 或 **晕型** 半导体的导电能力虽然比本征半导体大大增强，但仅用一种材料并不能制成半导体元件。通常是在一块晶片上，采取一定的掺杂工艺措施，在两边分别形成 **孕型** 半导体和 **晕型** 半导体，两者的交界处就会形成 **孕晕** 结。

孕晕 结是构成各种半导体器件的基础。**孕晕** 结具有什么特性呢？如果在电源和灯泡所组成的电路中接入一个 **孕晕** 结（如图 **猿猿** 所示），电源正极与 **孕型** 半导体连接，则灯泡亮，说明通过 **孕晕** 结的电流较大。如果调换电源的极性（如图 **猿肆** 所示），电源正极与 **晕型** 半导体连接，则此时灯泡不亮，说明通过 **孕晕** 结的电流很小或没有电流通过 **孕晕** 结。这说明 **孕晕** 结具有单向导电的特性。**孕晕** 结所以具有这样的特性，是由它的内部结构所决定的。

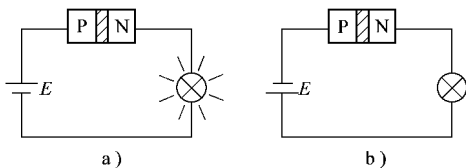


图 **猿猿** **孕晕** 结单向导电性实验电路
 猿 **孕晕** 结加正向电压 猿 **孕晕** 结加反向电压

猿 **孕晕** 结的形成

图 **猿肆** 所示的是一块单晶片（硅或锗），两边分别形成 **孕型** 半导体和 **晕型** 半导体，简称为 **孕区** 和 **晕区**。图中 **猿** 代表得到一个电子的三价杂质（例如硼）离子，**肆** 代表失去一个电子的五价杂质（例如磷）离子，**孕区** 内空穴浓度高，自由电子浓度低，**晕区** 内自由电子浓度高，空穴浓度低。由于交界面两侧浓度相差很大，引起两侧载流子的相互扩散，空穴向 **晕区** 扩散，自由电子向 **孕区** 扩散（所谓扩散就是物质从浓度高的地方向浓度低的地方运动）。扩散的结果是，在 **孕区** 中靠近交界处的一边出现一层带负电荷的离子区，在 **晕区** 中靠近交界处的一边出现一层带正电荷的离子区。于是，在交界处附近形成一个空间电荷区：**孕型** 侧的薄层带负电，**晕型** 侧的薄层带正电，这个空间电荷区就是 **孕晕** 结，如图 **猿伍** 所示。

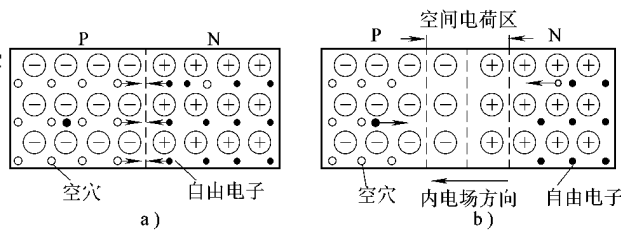


图 **猿肆** **孕晕** 结的形成
 猿 带电离子的扩散 猿 空间电荷区

孕晕 结所产生的电场称为内电场，它的方向是由 **晕区** 指向 **孕区**。内电场对多数载流子（**晕区** 的自由电子和 **孕区** 的空穴）的扩散运动起阻挡作用，但能推动少数载流子（**孕区** 的自由电子和 **晕区** 的空穴）越过空间电荷区进入对方区域。这种少数载流子在内电场作用下的定向运动称为漂移运动。

孕晕 结的形成是扩散运动和漂移运动之间动态平衡的过程。开始时扩散运动占优势，随着扩散运动的进行，内电场逐步加强，内电场的加强使扩散运动逐步减弱，漂移运动逐渐加强，最后，扩散运动和漂移运动达到动态平衡，这时电荷区的宽度基本上稳定下来，如果

外界条件不变将保持这种状态，如果外界条件发生变化则空间电荷区的宽度也随之变化，扩散运动和漂移运动将达到一种新的平衡状态。

PN结的单向导电性

PN结在无外加电压的情况下，扩散运动和漂移运动处于动态平衡。但是在给PN结加上一个外部电压后，结果就如图 1-10 所示的实验一样，将产生变化。

当给PN结加正向电压，即外电源的正极接P区，负极接N区（如图 1-10a 所示），外加电场与内电场方向相反，于是多数载流子在外加电压的作用下进入空间电荷区，离子数量减少，PN结变窄，空间电荷区变薄，内电场被削弱，扩散运动加强，多数载流子顺利通过PN结，形成较大的正向电流。这时PN结呈现的电阻很低，处于正向导通状态。正向导通时，外部电源不断向半导体供给电荷，使电流得以维持。

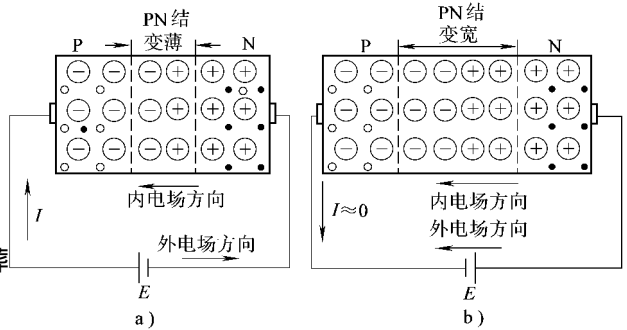


图 1-10 PN结的单向导电性
a) 正向接法 b) 反向接法

如果PN结加反向电压，即外电源的正极接N区，负极接P区（如图 1-10b 所示），外电场的方向和内电场的方向相同，则在外加电场的作用下将把多数载流子拉离PN结，结果使空间电荷区变厚，内电场增强，PN结变宽，削弱了多数载流子的扩散运动，加强了少数载流子的漂移运动。由于少数载流子数量很少，所以仅能形成很小的漂移电流——反向电流。这时PN结中仅有极少的载流子运动，PN结呈高电阻状态，即处于反向截止状态。应当注意，反向电流基本不受外加电压的影响，但受外界其他条件的影响。因为少数载流子是由热激发产生的，环境温度越高，光照越强，少数载流子数量就越多，反向电流就越大，所以，温度对反向电流的影响很大，这正是半导体器件的温度特性很差的根本原因。

由以上分析可知，PN结加正向电压时，有较大的正向电流流过，PN结导通；加反向电压时，通过的反向电流很小（工程上常常略去），PN结截止。PN结有“单向导电性”，这是PN结的基本特性。

第二节 二极管、三极管、极间管

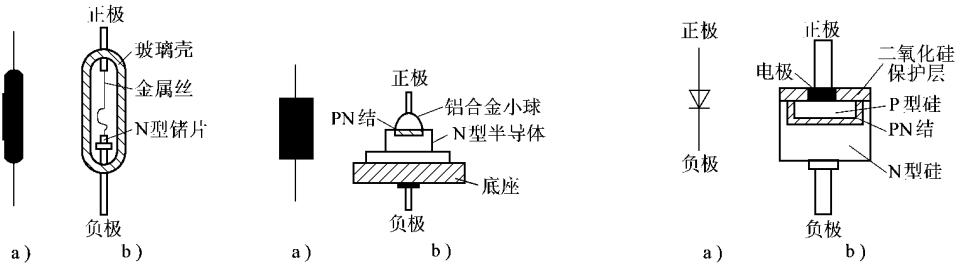
一、二极管的结构及特性

1. 二极管的结构

二极管是由PN结加上相应的电极引线和管壳做成的。按结构可分为点接触型、面接触型和平面型三种。点接触型二极管的结构如图 1-11 所示。它的特点是PN结的接触面积非常小，结电容较小，不能通过较大电流，但高频性能好，故适用于高频和小功率工作环境，一般用于检波或脉冲电路。

面接触型和平面型二极管的主要特点是PN结的结面积很大，故可以通过较大的电流，

但工作频率较低，一般用作整流。面接触型二极管的外形和结构如图 5-10 所示。平面型二极管的符号如图 5-11 所示，N 区引出的电极称为二极管的正极，P 区引出的电极称为二极管的负极。平面型二极管的结构如图 5-12 所示。



触型二极管的和结构
图 5-10 结构

触型二极管的和结构
图 5-11 结构

面型二极管的和结构
图 5-12 结构

二极管的伏安特性

二极管的伏安特性曲线是指在它的两个电极之间加上不同数值的电压时，此电压与对应流过它的电流的关系曲线。二极管伏安特性的测试电路如图 5-13 所示，改变可调电阻 R_{RP} 的大小，可以测出不同电压下流过二极管的电流。把所测数据画在直角坐标图上，就得到二极管的伏安特性曲线，图 5-14 所示为硅二极管的伏安特性曲线。

从图 5-14 中可见，当二极管两端电压从 0 伏开始正向增大，在一定范围内电流值很小，几乎为零，可以认为二极管还未导通，故称此区为死区。当正向电压超过一定数值（这个数值的正向电压称为死区电压）后，电流增长很快，这是因为外加电压超过死区电压后，内电场被大大削弱，二极管的电阻变得很小，正向电流随电压的上升而迅速增加，很快就可达到最大允许值。死区电压的大小和管子的材料及环境温度有关。一般硅管的死区电压约为 0.5 伏，锗管的死区电压约为 0.2 伏。

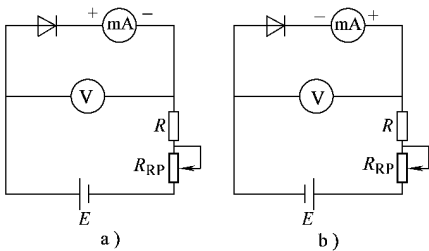


图 5-13 测二极管伏安特性的测试电路
图 5-13 正向接法 图 5-13 反向接法

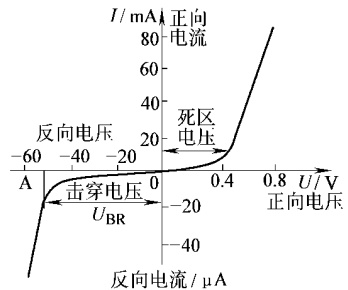


图 5-14 硅二极管的伏安特性曲线

在给二极管加反向电压时，少数载流子的漂移运动形成很小的反向电流。反向电流有两个特点，一是它随温度的上升增长很快；二是反向电压在一定范围内，大小基本恒定，不随反向电压变化，这是因为少数载流子的数量很少，在一定的温度下，只要有一定的反向电压就能使其所有的少数载流子形成反向电流，即使在一定范围内增加反向电压，也不能再使反向电流增加了。所以反向电流又称为反向饱和电流。通常硅二极管的反向电流只有锗二极管的几分之一或几百分之一，因此硅二极管的温度稳定性比锗二极管好。

从实验中可以发现,当反向电压增大到一定数值(以硅二极管为例,如图 1-10 中的 粤点)时,反向电流突然增大,二极管失去反向截止的特性,这种现象称为反向击穿,二极管不再具有单向导电性。从微观分析可知,这是因为当二极管所加的反向电压增强时, 孕 结反偏,大量的价电子获得能量,当外电场增大到一定值时,这些价电子获得的能量增强到足以挣脱原子核的束缚而形成自由电子,这时载流子数量急剧增多,造成二极管的反向击穿,此时的反向电压称为反向击穿电压,记作 哉_反。普通二极管被反向击穿,会烧坏 孕 结。因此二极管工作时,承受的反向电压应小于其反向击穿电压。

用不同材料和不同工艺制造的二极管,它们的伏安特性虽然有差异,但伏安特性曲线的形状却是相似的。

利用二极管的单向导电性,可用它实现检波、整流、嵌位、开关等功能。

二、二极管的主要参数、选择和检测

1. 二极管的主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外,还可以用一些参数表示。二极管的参数很多,在工程上必须根据二极管的参数,合理地加以选择和使用,才能充分发挥其作用。

(1) 最大整流电流 哉_反 最大整流电流是指二极管长期工作时,允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过 孕 结要引起管子发热,电流过大,发热量超过限度就会烧坏 孕 结。所以在使用二极管时要注意,通过管子的正向平均电流不允许超过所规定的最大整流电流值。一般点接触型二极管的最大整流电流在几十毫安以下,面接触型二极管的最大整流电流可达到数百安培以上,有的甚至可达几千安培以上。

(2) 最高反向工作电压 哉_反 最高反向工作电压是保证二极管不被击穿的最高反向电压,通常是反向击穿电压的一半或 圆/3,以保证二极管在使用中不致因反向电压过大而损坏。点接触型二极管的最大反向电压一般为数十伏以下,面接触型二极管的最大反向电压一般可达数百伏。

(3) 最大反向电流 哉_反 最大反向电流是指给二极管加最大反向电压时的反向电流值。反向电流小,说明管子的单向导电性能好,并且受温度的影响小。常温下,硅二极管的反向电流一般在几微安;锗二极管的反向电流较大,为硅二极管的几十到几百倍。反向电流受温度影响大,温度越高,其值越高;反向电流越小,温度稳定性越好,故硅二极管的温度稳定性比锗二极管好。

此外,选用二极管时也应注意正向电压、最高工作频率等参数。

2. 二极管的选择

选用二极管时要根据管子的参数去选择,既要使管子能得到充分利用,又要保证管子能安全工作。选择二极管主要参数有两个:最大整流电流 哉_反 和最高反向工作电压 哉_反。

例如:在单相桥式整流电路中,二极管中流过的平均电流是 哉_反/2,二极管上承受的最高反向电压为 圆/2 哉_反,则可以选用 圆/2 哉_反 的二极管,其最大整流电流为 哉_反/2,最高反向工作电压为 圆/2 哉_反。

此外,还要注意通过较大电流的二极管一般都需要加散热器,散热器的面积必须符合要求,否则也会损坏二极管。

3. 二极管的检测

二极管具有正向导通、反向截止的单向导电性，因此可用万用表来判断二极管的正、负极及其性能的好坏。

(员) 二极管极性的判别 二极管的极性一般可通过二极管管壳上的符号标识来识别。如果管壳上没有标识或标识不清，就需要用万用表进行检测，通过检测其正、反向电阻来判别其极性，管子的正向电阻值一般在几百至几千欧之间，反向电阻值在几十千欧至几百千欧之间。检测电路如图 5-1-10 所示。首先把万用表拨到欧姆挡 (Ω) 或 $\times 1k(\Omega)$ 档，然后将两个表笔分别接二极管的两个电极，交换电极再测一次，从而得到两个电阻值。以此可确定测得电阻值中数值小的一次，黑表笔接的是二极管的正极，红表笔接的是二极管的负极（若用数字万用表，则黑表笔接的为二极管的负极，红表笔接的是二极管的正极）。

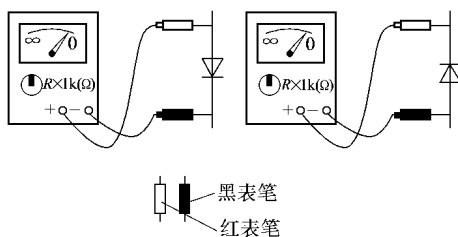


图 5-1-10 用万用表判别二极管的极性

(圆) 二极管性能的判别 判别二极管性能好坏的依据是其正反向电阻值的大小。性能好的二极管，一般其反向阻值比正向阻值大几百倍以上。若两次测得的正、反向电阻值均很小或接近于零，则说明管子内部已击穿短路；如果正、反向电阻值均很大或接近于无穷大，则说明管子内部已断路；如果正、反向阻值相差不大，说明其性能变坏或已失效。出现以上三种情况的二极管都不能正常使用。

三、二极管的种类和用途

二极管按用途可分为检波二极管、整流二极管、开关二极管、稳压二极管、变容二极管和发光二极管等。下面介绍几种常用的二极管。

1. 稳压二极管

(员) 伏安特性 稳压二极管（简称稳压管）是一种用特殊工艺制造的面接触型硅半导体二极管，它的杂质浓度较高、PN 结较薄，使用时，它的负极接外加电压的高端，正极接低端，管子处于反向偏置，工作在反向击穿状态。图 5-1-11 是它的伏安特性和符号，其伏安特性和普通二极管的伏安特性相似，只是稳压管的反向击穿特性曲线比较陡。

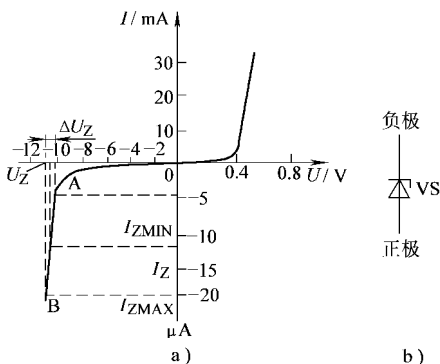


图 5-1-11 稳压管的伏安特性和符号
a) 伏安特性 b) 符号

普通二极管反向截止时，外加反向电压必须小于它的反向击穿电压，反向漏电流很小，通常是微安级。而稳压管却是工作在反向击穿区，即反向电压为反向击穿电压，反向电流较大，通常是毫安级。

从稳压管的反向击穿特性看出，稳压管的伏安特性与二极管的伏安特性相似，但比普通二极管的伏安特性陡。当稳压管所加的反向电压比较小且在一定范围内变化时，反向电流很小且基本不变；当反向电压增加到击穿电压后，反向电流急剧增加，此后只要反向电压略有增加，反向电流就有很大增加，此时稳压管处于反向击穿状态，对应于反向特性曲线的 BC 段，称为可逆击穿区。稳压管在工作时，反向电流不许超过允许的最大值（图 5-1-11 中的 I_{ZMAX} ），否则会损坏管子。

稳压管工作在击穿区 粤月之间,在这个区间内,反向电流在很大范围内变化,而稳压管两端的电压变化却很小,利用这一特性,稳压管在电路中能起到稳压作用。若电流小于 粤点的电流 (限),则不能稳压;若电流大于 月点电流 (限),则会烧坏管子。

(圆) 主要参数 摇硅稳压管主要参数有以下几个。

员) 稳定电压 哉,也就是稳压管在正常工作时管子两端的电压。由于稳压管工作在反向击穿状态,所以稳定电压实质上就是稳压管的反向击穿电压。因制造工艺不易控制,同型号管子的稳定电压也有少许差别,如 圆 辞 说的稳定电压为 怨~ 元 缘 哉。稳压管的 哉 有几伏到上百伏的,可根据需要选用。

圆) 稳定电流 限 工作电压等于稳定电压时的反向电流,即管子正常工作时的额定电流。如 圆 辞 说的 限 为 缘 皂 粤。

猿) 最大稳定电流 限 管子稳定工作时,稳压管长期运行允许通过的最大反向电流。稳压管工作时的电流应小于这个电流,若超过这个值,则会因过热而损坏。

源) 动态电阻 则 动态电阻是指稳压管在正常工作区(即可逆击穿区)工作时,其电压的变化量与相应的电流变化量的比值,即

$$\text{则 越 } \frac{\Delta \text{哉}}{\Delta \text{限}} \quad (\text{员 则})$$

稳压管的反向伏安特性曲线越陡,动态电阻就越小,稳压性能也就越好。

缘) 最大允许耗散功率 孕 反向电流通过稳压管 孕 晕 结时,要产生一定的功率损耗,使 孕 晕 结的温度上升,最大允许耗散功率是 孕 晕 结工作温度所允许的最大耗散功率,其值等于最大稳定电流与相应的稳定电压的乘积。

(猿) 稳压管的应用 摇稳压管的主要用途就是在电路中起稳压作用。最常用的是用一只稳压管组成的最简单的稳压电路,如图 员 缘 所示。

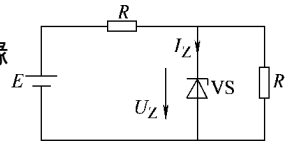


图 员 缘 最简单的稳压电路

圆 缘 发光二极管

发光二极管 (蕴 粤 粤 粤 粤 粤 粤 粤 粤 粤),简称 蕴 粤 粤,是一种光发射器件。它可以直接把电能转换成光能,是一种新型的冷光源。它具有如下优点:一是体积小、重量轻、耗电少、抗冲击、寿命长;二是工作电压低(只有 员 缘 ~ 猿 伏)、单色性好、响应速度快;三是易于调节发光亮度(通过调节电压或电流);四是容易与集成电路配合使用。因此,发光二极管在许多领域都得到了广泛的应用。

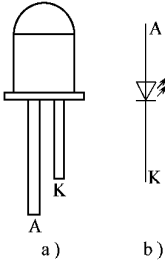
发光二极管是一种固态的 孕 晕 结器件,常用砷化镓、磷化镓等材料制成,外形及符号如图 员 缘 所示。当 孕 晕 结加上正偏电压时,通过多数载流子的移动,将能量以发光的形式释放出来,其中没有热交换过程。

发光二极管发出的光的颜色取决于制造管子所用的材料,在砷化镓中加入一些磷可以发出红色光,磷化镓可以发出绿色光。目前市场上发光二极管主要的发光的颜色有红、橙、黄、绿、蓝等。

图 员 缘 所示是发光二极管的伏安特性曲线,和普通二极管的伏安特性相似;但它的导通门限电压比普通二极管要高,使用时应加正向电压。它的正常工作电流一般为几个毫安至几十个毫安,在电路中应接入限流电阻,发光强度受正向电流的影响,电流越大,发光越强。

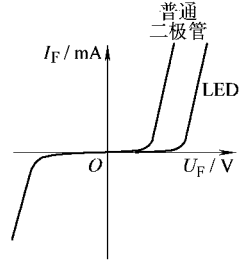
利用发光二极管可做成数字、字符显示器件。单个 孕 晕 结可以封装成发光二极管,多个

二极管可以按分段式封装成半导体数码管，选择不同字段发光，可显示出不同的字形。因此发光二极管在很多领域得到了广泛的应用，例如：可作为光源器件将电信号变为发光信号，用于光电检测技术中；可以根据需要制成数码管、字符管、电平显示器、各种平板型电视屏等；在要求发光强度高的场合，可使用大功率系列超高亮度二极管；在照相机的电子测光系统中使用超小型发光二极管等。



二极管的外形及符号

普通符号



二极管的伏安特性曲线

第三节 双极型晶体管

在现代化生产和科研中，常需要把一些微弱的小信号进行放大，再去带动执行元件工作，这个放大过程是靠放大器来完成的，而双极型晶体管（又称为晶体三极管或半导体三极管）则是放大电路的基本器件。

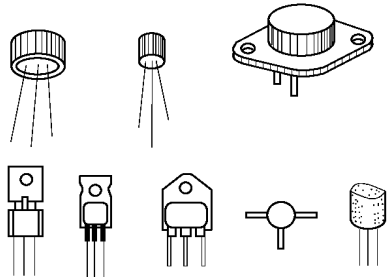


图 3-1-1 几种晶体管的外形和管脚排列

一、晶体管的基本结构和分类

晶体管的基本结构是在一整块半导体基片上，用一定的工艺方法制成两个PN结，分别引出三个电极，然后用管壳封装而成。图 3-1-2 所示为几种常见的晶体管的外形和管脚排列图。其中，大功率管常将外壳兼作三个极中的一个，如功率管。

根据晶体管结构的不同，可以分为 NPN 型和 PNP 型两种。NPN 型晶体管由两个 N 区中间夹着 P 区组成，其结构和符号如图 3-1-3 所示；PNP 型晶体管由两个 P 区中间夹着 N 区组成，其结构和符号如图 3-1-4 所示。这三层半导体形成了三个不同的导电区，这三个导电区，分别称为发射区、集电区和基区。其中，发射区掺杂最重，多数载流子浓度最高，是用来发射载流子的，由发射区引出发射极；基区掺杂最轻，且做得很薄，载流子浓度最低，由此引出基极；集电区掺杂较发射区轻，是用来收集载流子的，由此引出集电极。由于发射区和集电区掺杂程度不同，所以不

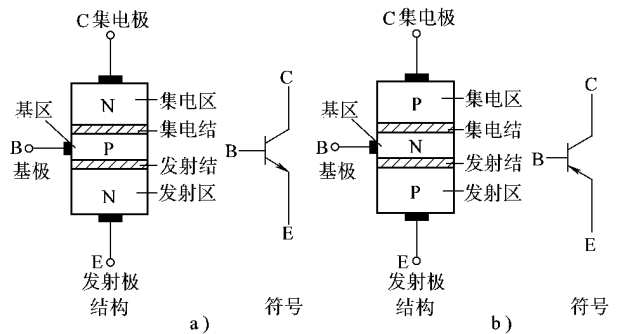


图 3-1-3 晶体管结构和符号

普通 NPN 型晶体管 普通 PNP 型晶体管

可以调换使用。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结，基区和集电区之间的 PN 结称为集电结；为了便于收集载流子，集电结面积做得比发射结的大。晶体管的符号中，发射极箭头方向表示通过该极的电流方向。

二、晶体管的电流放大原理

1. 晶体管的电流放大作用

晶体管的内部结构决定了晶体管具有电流放大作用。

下面以 NPN 型晶体管为例，通过实验来了解晶体管的电流放大原理。

实验电路如图 1-10 所示。基极电源 U_{BB} 、基极电阻 R_B 、基极电位分压器 R_{RP} 和发射极电阻 R_E 组成输入回路。集电极电源 U_{CC} 、集电极电阻 R_C 、集电极电位分压器 R_{RP} 和发射极电阻 R_E 组成输出回路。这是一个以发射极为公共电极的共发射极电路。（如果改用 PNP 型管子，则应将基极电源 U_{BB} 和集电极电源 U_{CC} 的极性都反过来，电流 I_B 、 I_C 、 I_E 的方向也都要反过来。）

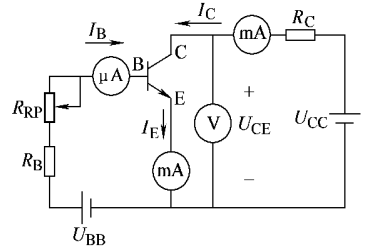


图 1-10 晶体管电流放大实验电路

如前所述，发射区的作用是向基区发射载流子，发射结必须正向偏置，而集电区的作用是收集载流子，集电结必须反向偏置。因此一般使电源 U_{BB} 约 U_{CE} ，这样就保证了发射结加的是正向电压（正向偏置），集电结加的是反向电压（反向偏置）。调整电阻 R_B 的值，可以改变基极电流 I_B 的值，从而得到相应的集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 。测试结果列于表 1-1 中。

表 1-1 晶体管电流放大实验测试数据

偏转角	I_B / μA	I_E / mA	I_C / mA	U_{CE} / V	U_{BB} / V	U_{CC} / V
0°	约 0.01	约 0.01	约 0.01	约 6	约 6	约 6
15°	约 0.02	约 0.02	约 0.02	约 6	约 6	约 6
30°	约 0.03	约 0.03	约 0.03	约 6	约 6	约 6

从这些测试数据中，我们可以得出如下结论：

1) 基极电流 I_B 与集电极电流 I_C 之和等于发射极电流 I_E ，三个电流符合基尔霍夫电流定律，即

$$I_B + I_C = I_E \quad (1-1)$$

2) 基极偏流 I_B 很小，而 I_C 稍小于 I_E ，且远远大于 I_B ，通常可以认为发射极电流 I_E 约等于集电极电流 I_C ，即

$$I_C \approx I_E \gg I_B \quad (1-2)$$

3) 双极型晶体管具有电流放大作用：比较测量数据中的第四组和第五组值， I_C 与 I_B 的比值为

$$\frac{I_C}{I_B} \approx \frac{I_E}{I_B} > \frac{I_E}{I_B} > \frac{I_C}{I_B} > \frac{I_E}{I_B}$$

把集电极电流 I_C 与基极电流 I_B 的比值称为直流电流放大系数，记作 β ，即

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-3)$$

电流的放大作用还体现在基极电流产生微小变化 (ΔI_B) 时，会引起集电极电流 I_C 很大的变化 (ΔI_C)。由第 1、2 组测试数据可得

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \approx \beta$$

这个比值在一定范围内几乎不变，我们把集电极电流变化量 ΔI_C 与基极电流变化量 ΔI_B 之比称为交流电流放大系数，记作 β ，即

$$\beta \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

β 值是由管子的结构特点和制造工艺决定的，并且与工作电流的大小有关。

在数值上，交、直流电流放大系数相差很小，所以，在工程上通常不作严格区分，估算时，二者可以通用，即

$$I_C \approx \beta I_B \quad (1.1)$$

常用的小功率晶体管的 β 约为 100~300 之间。 β 太小，放大能力差，但 β 过大，工作稳定性差。另外，由于工艺上的分散性，即使同一型号的管子， β 值也会有所不同。

晶体管的电流放大原理分析

现以 NPN 型管为例，通过分析晶体管内部载流子的运动，来说明晶体管为什么具有电流放大作用，如图 1.1 所示。

(1) 发射区向基区发射电子 因为发射结处于正向偏置，N 型发射区的多数载流子（电子）在外电场作用下扩散到基区，形成发射极电流 I_E ，并且由电源不断向发射区补充 I_E 所需电子。

(2) 电子在基区的扩散和复合 自由电子注入基区后，由于浓度的差别，大多数自由电子向集电结的方向继续扩散，形成集电极电流 I_C ；同时在扩散过程中，一部分自由电子将与基区中的空穴相遇而复合，形成了基极电流 I_B ，且基极电源不断地向基区补充空穴，以补充被复合掉的空穴，由于基区很薄且空穴浓度低，故复合机会很少，形成的基极电流 I_B 很小，就使得 $I_C \gg I_B$ ，从而获得较大的电流放大系数。

(3) 集电区收集电子 由于集电结处于反向偏置，空间电荷区加宽变厚，集电区的 P 型半导体的电子在向 N 区扩散过程中，内电场对其起阻挡作用；而对于从基区扩散过来的自由电子起推动作用，所以只要从发射区发射出的电子扩散到集电结边缘时，就很容易漂过集电结而被集电区收集，从而形成集电极电流 I_C 。

因此，由发射区发射到基区的电子，少部分与基区的空穴复合而形成很小的基极电流 I_B ，绝大部分将越过集电结而形成较大的集电极电流 I_C ，所以 $I_C \approx I_E$ ；且只要基极电流 I_B 有少量的变化，就会引起集电极电流 I_C 较大的变化，这就是晶体管的电流放大作用，这个放大作用用电流放大系数来表示。要实现晶体管的电流放大作用，一方面要使发射区的多数载流子的浓度远大于基区的多数载流子浓度；另一方面发射结要正向偏置，集电结要反向偏置。

三、晶体管的伏安特性曲线

晶体管的伏安特性曲线是指晶体管各电极的电流与电压之间的关系曲线，是晶体管内部特性的外部表现，能够反映出晶体管的性能，是分析晶体管放大电路的重要依据。最常用的伏安特性曲线有输入特性曲线和输出特性曲线，图 1.2 所示为 NPN 型晶体管特性曲线的测试电路。

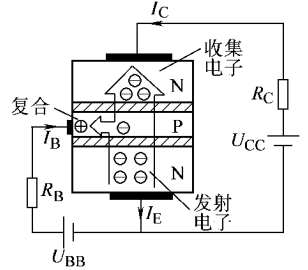


图 1.1 NPN 型晶体管中的载流子分配