

● 高等学校教材

电子技术

(电工学 II)

主 编 孙立功

副主编 刘跃敏



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

● 高 等 学 校 教 材

电子技术

Dianzi Jishu

(电 工 学 II)

主 编 孙立功

副主编 刘跃敏



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本教材为适应普通高校教学改革和电工电子技术发展的新形势而编写,内容符合新世纪电工电子技术课程教学改革要求。

本教材内容主要包括半导体器件与放大电路、集成运算放大电路及应用、直流稳压电源、电力电子技术基础、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、存储器和可编程逻辑器件、模拟量和数字量的转换等。

本教材内容丰富,选材合理、适当,符合一般院校的教学实际;理论分析从简,叙述简练易懂;突出实际应用,强调理论联系实际,注重学生能力的培养;引入电子技术领域的创新技术,扩大学生的知识面,有利于学生素质的全面提高。

本教材适合作为高等学校工科非电类专业本专科学生的电子技术教材,也可供工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术. 电工学. 2/孙立功主编. —北京:高等教育出版社,2010. 12

ISBN 978 - 7 - 04 - 030330 - 8

I. ①电… II. ①孙… III. ①电子技术 - 高等学校 - 教材②电工学 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 195611 号

策划编辑 金春英 责任编辑 王丹丹 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 刘 莉 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 17.25
字 数 420 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 12 月第 1 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
定 价 25.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30330 - 00

前 言

电子技术与电工技术一样,是工科非电类专业的技术基础课,其目的是培养学生掌握电子技术的基本理论、基础知识和基本技能,为学生今后学习本专业其他课程以及从事本专业的工作打下良好的基础。本课程的学习,可以使学生了解常见半导体元器件的基本原理和应用方法,掌握基本电子电路的分析方法,熟悉常用电子实验仪器仪表的应用,并具备一定的设计简单电子电路的实际能力,了解电子技术的最新发展和应用情况。

本教材是编者在长期调查研究的基础上,充分考虑到我国高等学校的实际情况,为方便一般院校的电子技术课程教学而编写的。因此,本教材在编写过程中,力争突出以下特色。

1. 引入当前科技发展的新成果、新技术和新的知识点,体现科学的、先进的理念,有助于培养学生科学的思维方式,如在第七章第二节中,介绍了应用前沿的FPGA和CPLD的原理。

2. 理论分析从简,叙述简练,易读易懂,如在介绍晶体管的电流放大作用时,删减了载流子运动的理论分析,直接介绍晶体管的工作条件及实验结果,更易使学生掌握。

3. 突出实际应用,强调理论联系实际,注重学生能力的培养,如介绍数字电路的内容时,尽量结合现代数字系统的基本原理,使学生学习时有的放矢。

4. 注意例题和习题与有关章节内容的配套,并在教材内容中尽量引用工程应用实例,使学生的学习贴近工程实际。

5. 教材内容的编排和叙述方法尽量有利于先进教学手段的应用,如将EDA技术与教材内容相结合,既开阔了学生的视野,又在一定程度上解决了内容多、学时少的矛盾。

6. 各部分内容均以培养学生逻辑思维能力、分析解决问题能力、实际动手能力、自学能力为出发点,注重学生能力的培养和综合素质的提高。教材编写上体现知识的连续性,对学生后续课程的学习有实际的帮助。

本教材授课学时以60~70学时为宜。对于授课学时较少的专业,可选择其中部分内容进行教学。实验学时占总学时的25%。

本教材由河南科技大学电工电子教研室组织编写,共分八章。第一章由孙立功编写,第二章由赵显红编写,第三、四章由李劲伟编写,第五章由刘跃敏编写,第六、七章由张晓红编写,第八章和附录部分由齐晶晶编写。全书由孙立功任主编并负责统稿。

全书由华南理工大学殷瑞祥教授担任主审。主审认真审阅了书稿,并提出了许多宝贵建议。在本教材编写过程中,河南科技大学阎保定教授给予了认真的指导,并仔细地审阅了全部书稿,提出了建设性意见。本教材也得到了河南科技大学电工电子教研室同行的大力支持。在此谨向他们深表感谢。

在编写教材过程中,编者参考了部分优秀教材,谨对这些参考书的作者表示感谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者 于洛阳河南科技大学
2010年9月20日

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 半导体器件与放大电路	1	第四节 集成稳压器	104
第一节 PN 结	1	小结	108
第二节 二极管	4	习题	109
第三节 特殊二极管	7	第四章 电力电子技术基础	113
第四节 晶体管	10	第一节 晶闸管	113
第五节 基本放大电路	16	第二节 可控整流电路	116
第六节 微变等效电路分析法	22	第三节 晶闸管的其他应用及保护	120
第七节 稳定静态工作点的 放大电路	27	第四节 其他电力电子器件及应用	125
第八节 共集电极放大电路	30	小结	133
第九节 多级放大电路及频率特性	33	习题	133
第十节 功率放大电路	37	第五章 门电路和组合逻辑电路	135
第十一节 场效应晶体管及其 放大电路	42	第一节 概述	135
小结	47	第二节 基本逻辑门电路	136
习题	47	第三节 TTL 集成门电路	141
第二章 集成运算放大电路及应用	53	第四节 CMOS 集成门电路	145
第一节 差分放大电路	53	第五节 逻辑代数基础	147
第二节 集成运算放大电路简介	59	第六节 组合逻辑电路的分析 与设计	151
第三节 电路中的负反馈	62	第七节 常用组合逻辑电路	154
第四节 集成运放在信号运算 电路中的应用	68	小结	163
第五节 集成运放在信号处理 电路中的应用	73	习题	163
第六节 集成运放在信号发生 电路中的应用	76	第六章 触发器和时序逻辑电路	168
第七节 集成运放的选择与使用	81	第一节 双稳态触发器	168
小结	84	第二节 时序逻辑电路的分析	176
习题	85	第三节 寄存器	180
第三章 直流稳压电源	89	第四节 计数器	183
第一节 整流电路	89	第五节 555 定时器及应用	192
第二节 滤波电路	94	第六节 综合应用举例	199
第三节 稳压电路	99	小结	204
		习题	204
		第七章 存储器和可编程逻辑器件	211
		第一节 存储器	211
		第二节 可编程逻辑器件	215

小结	225	习题	238
习题	225	附录一 Multisim7 在电子电路中 的应用	240
第八章 模拟量和数字量的转换	227	附录二 常用半导体器件的参数	251
第一节 D/A 转换器	227	部分习题答案	263
第二节 A/D 转换器	231	参考文献	267
小结	237		

第一章 半导体器件与放大电路

在电子信号的处理过程中,信号的放大是各种电子电路的重要任务,这一任务由放大电路来完成,而单管放大电路是构成各种复杂放大电路的基本单元。本章首先介绍电子电路中常用的半导体器件,然后以晶体管组成的几种放大电路为例,介绍放大电路的组成原则、工作原理、分析计算方法、特点和应用。

第一节 PN 结

一、半导体的导电特性

所谓半导体,就是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,如硅、锗、硒以及大多数金属氧化物和硫化物。

1. 半导体的导电特性

半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别,利用这种特性制成了各种不同用途的半导体器件。

半导体对环境情况的变化比较敏感。例如有些半导体对温度比较敏感,环境温度增高时,它们的导电能力要增强很多,利用这种特性就做成了各种热敏元件。还有些半导体对光照比较敏感,当它们受到光照时,其导电能力会变得很强,利用这种特性就做成了各种光电元件。

在某些纯净的半导体中掺入微量的杂质后,它们的导电能力就可增加几十万甚至几百万倍。例如在纯硅中掺入百万分之一的硼后,硅的电阻率就从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右。

大部分半导体器件由硅和锗材料制成,这两种材料都是四价元素,下面简要介绍半导体的导电机理。

2. 本征半导体

具有单晶体结构的纯净半导体称为本征半导体,图 1-1 为本征半导体的原子结构。硅是四价元素,其原子最外层轨道上有 4 个价电子,且与相邻原子的价电子形成共价键结构。

处于共价键结构中的价电子正常情况下很难摆脱原子核的束缚,但是当这些价电子获得一定的外界能量(温度或光照)时,就可以摆脱原子核的束缚成为自由电子(简称电子),同时在原来共价键中留下一个空位子,称为空穴,这个过程称为激发,如图 1-2 所示。在本征半导体中存在两种导电粒子,带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴,统称为载流子。在外电场的作用下,电子定向运动形成电子流,空穴定向运动形成空穴流,二者之和即为半导体中的电流。

在纯净半导体中,电子与空穴是成对出现的,在运动过程中如果自由电子填补了空穴,自由

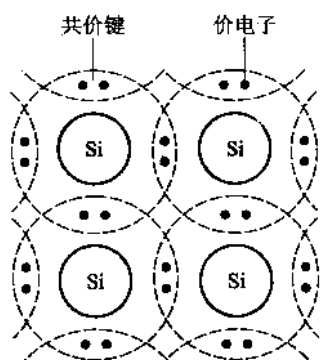


图 1-1 本征半导体的原子结构

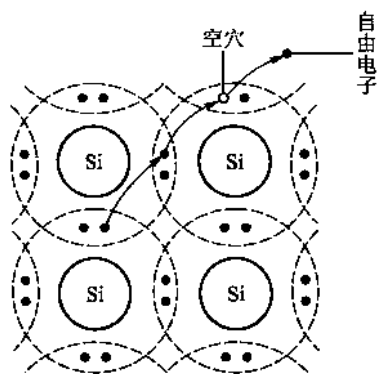


图 1-2 空穴和自由电子的形成

电子和空穴就成对消失,这种现象称为复合。在一定的温度下,电子、空穴对的产生和复合在不停地进行,但最终处于一种动态平衡状态,使半导体中载流子的浓度保持一定。温度升高,载流子浓度增加。温度每升高 10°C 左右,载流子浓度约增加一倍。

3. 杂质半导体

在纯净半导体中掺入相关的微量元素作为杂质,就会使半导体的导电能力大大增强。因掺入的杂质不同,杂质半导体可分为两类。

(1) N 型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入五价元素(如磷、砷等),五价元素会替代晶体中某些硅(或锗)原子的位置,它的 5 个价电子中有 4 个与周围的 4 个硅(或锗)原子形成共价键,而多余的一个电子在室温下很容易激发成为自由电子,同时五价原子变成带正电的离子,如图 1-3 所示。可以看出,每掺入一个五价原子,半导体中就多出一个自由电子,而空穴只有受温度影响产生激发时才会形成,所以这种半导体中自由电子的数目较多,故称为 N 型(或电子型)半导体,称自由电子为多数载流子(多子),而空穴的数目较少,称空穴为少数载流子(少子)。

(2) P 型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入三价元素(如硼、铟等),三价元素也会替代晶体中某些硅(或锗)原子的位置,它的 3 个价电子与周围的硅(或锗)原子形成共价键时,会出现一个空穴。室温下,这些空穴会吸引临近的价电子来填充,使三价原子变成带负电的离子,如图 1-4 所示。这种半导体中空穴的数目较多,故称为 P 型(或空穴型)半导体,称空穴为多数载流子(多子),称自由电子为少数载流子(少子)。

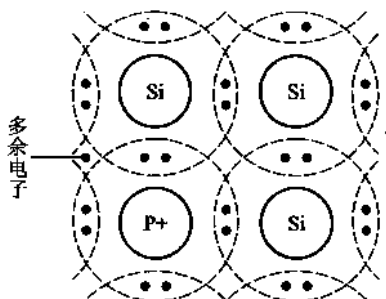


图 1-3 掺杂磷原子成为正离子

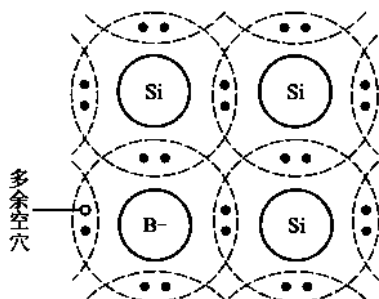


图 1-4 掺杂硼原子成为负离子

通常掺杂产生的载流子数量远大于激发所产生的载流子数量,因此无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,其多子的数量都由掺入杂质的浓度决定,而少子的数量则取决于环境温度。

二、PN 结及其单向导电性

在一块半导体基片上,通过不同的掺杂工艺,使其一边成为 N 型半导体,另一边成为 P 型半导体,在这两种半导体的交界面附近便形成了 PN 结。PN 结是构成多种半导体器件的基本结构。

1. PN 结的形成

由于 P 型半导体中多子是空穴, N 型半导体中多子是电子,在它们的交界面处就出现了电子和空穴的浓度差别。因此 P 区的空穴要向 N 区扩散,与 N 区的电子复合而消失,在 P 区一侧留下不能移动的三价杂质负离子,即形成负离子空间电荷区;同样, N 区的电子也要扩散到 P 区,与 P 区的空穴复合,在 N 区一侧留下不能移动的五价杂质正离子,即形成正离子空间电荷区,如图 1-5 所示。空间电荷区内形成了一个由 N 区指向 P 区的电场,称为内电场。随着扩散的不断进行,空间电荷区不断加宽,内电场不断加强。内电场的增大会阻碍多子的扩散,故空间电荷区也称为阻挡层。另一方面,内电场推动少子(P 区的电子和 N 区的空穴)越过空间电荷区,进入对方。少子在内电场作用下的运动称为漂移运动,其结果会使空间电荷区变窄,内电场被削弱。扩散和漂移是相反的两种运动,但最终会达到一种动态平衡,这时空间电荷区相对稳定,PN 结便形成了。

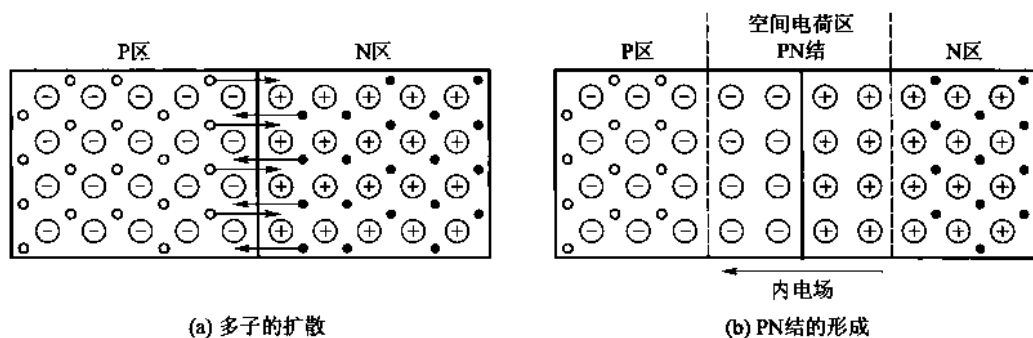


图 1-5 PN 结形成过程示意图

在无外电场或其他因素作用时,PN 结处于相对稳定状态,多子的扩散电流等于少子的漂移电流,且两者方向相反,故 PN 结中电流为零。由于空间电荷区没有载流子,所以又称为耗尽层,其宽度一般为数微米。

2. PN 结的单向导电性

(1) 外加正向电压

如图 1-6 所示,在 PN 结上加正向电压,即 P 区接电源正极, N 区接电源负极(这种接法称为正向偏置,简称正偏)。此时在外电场的作用下,内电场被削弱,多子被推向耗尽层,使空间电荷区变窄,有利于多子的扩散运动,不利于少子的漂移运动。多子扩散电流称为正向电流,这时称 PN 结导通。导通时 PN 结两端的电压只有零点几伏,所以很小的正向电压就可以产生很大的正向电流 I_F ,为防止烧坏器件,通常要在回路中串联一个电阻来限制电流。

(2) 外加反向电压

如图 1-7 所示,在 PN 结上加反向电压,即 P 区接电源负极, N 区接电源正极(这种接法称为

反向偏置,简称反偏)。此时外电场加强了内电场,使空间电荷区变宽,阻止多子扩散运动,但有利于少子的漂移运动,在回路中产生了由少子漂移形成的反向电流 I_R 。由于少子的浓度很低,反向电流很小,这时称 PN 结截止。由于反向电流是由少子的漂移运动形成的,所以它受温度的影响较大。

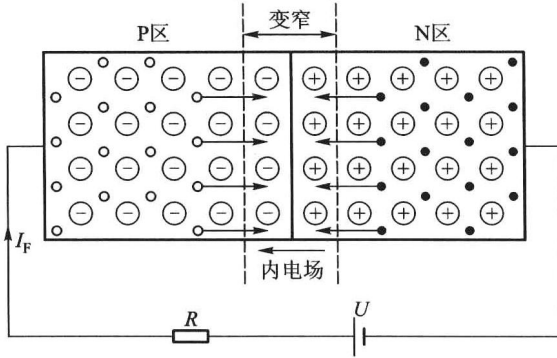


图 1-6 PN 结加正向电压

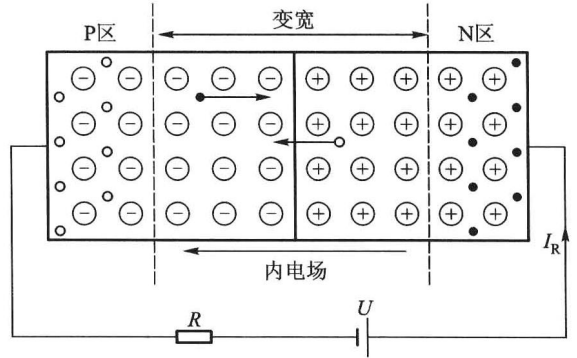


图 1-7 PN 结加反向电压

综上所述,PN 结具有单向导电性,即在 PN 结上加正向电压时,正向电流较大,PN 结电阻很小,视为导通;在 PN 结上加反向电压时,反向电流很小,PN 结电阻很大,视为截止。

[练习与思考]

1-1-1 半导体中的电流如何计算?

1-1-2 PN 结两端存在内电场,即有电位差,若将其两端用导线连接是否产生电流?

第二节 二极管

一、基本结构

半导体二极管是由一个 PN 结加上相应的电极引线和管壳构成的。由 P 区引出的电极称为阳极,由 N 区引出的电极称为阴极。图 1-8 所示是常用二极管的符号、结构及外形示意图。

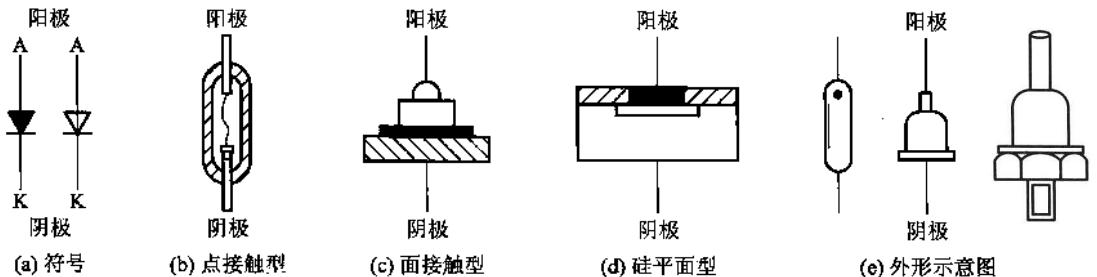


图 1-8 常用二极管的符号、结构及外形示意图

二极管按材料来分,有硅管和锗管;按结构来分,有点接触型、面接触型和硅平面型。点接触型二极管(多为锗管)的特点是 PN 结面积小,结电容小,允许通过的电流小,但其高频性能好,一般用于高频检波和小功率的工作,也可用作数字电路中的开关元件。面接触型二极管(多为硅管)的特点是结面积大,结电容大,允许通过的电流大,但其工作频率低,一般用于低频整流。硅平面型二极管结面积大的用作大功率整流,结面积小的用作数字电路中的开关管。

二、伏安特性

二极管的导电性能常用伏安特性来表示,它是指二极管两端的电压 U 和流经二极管的电流 I 之间的关系, $I=f(U)$ 。图 1-9 给出了一只实际二极管的伏安特性曲线。

1. 正向特性

当二极管外加正向电压较低时,外电场不足以抵消 PN 结的内电场,多数载流子的扩散受阻,正向电流几乎为零。当正向电压超过一定数值时,才有明显的正向电流,这个电压值称为死区电压。在室温下,硅管的死区电压约为 0.5V,锗管的死区电压约为 0.1V。当正向电压大于死区电压后,内电场基本被抵消,正向电流迅速增加,二极管的压降变化很小。硅管的正向压降约为 0.6~0.8V,锗管的正向压降约为 0.2~0.3V。

2. 反向特性

当二极管外加反向电压时,少数载流子通过 PN 结,形成很小的反向电流,在一定温度下它的大小基本不变,且与反向电压的大小基本无关,故称为反向饱和电流。小功率硅管的反向电流一般小于 $1\mu\text{A}$,而锗管的反向电流通常为几十微安。

3. 反向击穿特性

当二极管的外加反向电压大于一定数值时,反向电流将急剧增加,二极管失去单向导电性,这种现象称为反向击穿。二极管被击穿后,不能恢复原来的性能,便失效了,使用时应避免。反向击穿电压一般在几十伏。

二极管的伏安特性对温度很敏感,随着温度升高正向特性曲线向左移,反向特性曲线向下移,如图 1-10 所示。变化规律是:在室温附近,温度每升高 1°C ,同样的正向电流时,正向压降减

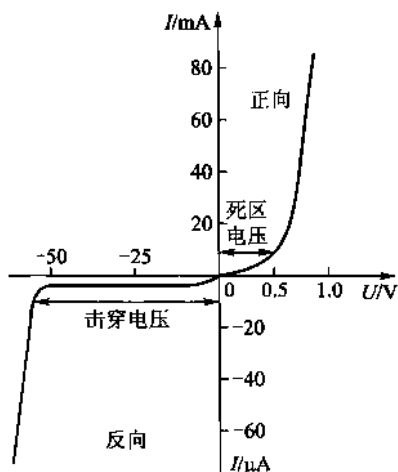


图 1-9 二极管的伏安特性曲线

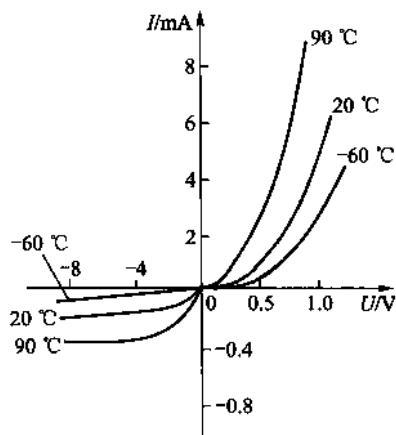


图 1-10 温度对二极管的影响

小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$; 温度每升高 10°C , 反向电流增加约一倍。硅二极管允许的最高工作温度是 $150 \sim 200^\circ\text{C}$, 锗二极管只允许工作在 100°C 以下, 大功率二极管几乎都用硅制成。

三、主要参数

二极管的导电性能还可用参数来定量描述, 它们是正确使用和合理选择二极管的依据。

1. 最大整流电流 I_{DM}

二极管长期工作时, 允许通过的最大正向平均电流。它由 PN 结的面积和外界散热条件决定, 使用时若电流超过这个数值, 将会使 PN 结过热而烧坏二极管。该值与二极管的结构和型号有关, 使用时可查相关手册。

2. 反向工作峰值电压 U_{RM}

二极管在使用时允许外加的最高反向电压, 超过此值二极管就有发生反向击穿的危险。通常取反向击穿电压的一半作为 U_{RM} 。

3. 反向峰值电流 I_{RM}

二极管外加反向工作峰值电压时的反向电流, 此值越小, 二极管的单向导电性越好。反向峰值电流受温度的影响较大。硅管的反向峰值电流较小, 锗管的反向峰值电流较大。

4. 最高工作频率 f_{M}

二极管在外加高频交流电压时, 由于 PN 结的电容效应, 单向导电作用退化。 f_{M} 是指二极管单向导电作用开始明显退化时交流信号的频率。

四、简单应用

为了分析计算方便, 通常在未加说明时将二极管视作理想二极管, 即在二极管外加正向电压时, 二极管导通, 正向压降为零; 当外加反向电压时, 二极管截止, 反向电流为零。

二极管的应用范围很广, 主要是利用它的单向导电性。它可用于整流、检波、限幅、元件保护以及用作数字电路中的开关元件等。

例 1-1 图 1-11(a) 所示为利用二极管作为正向限幅器的电路。已知 $u_i = 10\sin\omega t \text{ V}$, $U = 5 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, 试分析工作原理, 并作出输出电压 u_o 的波形。

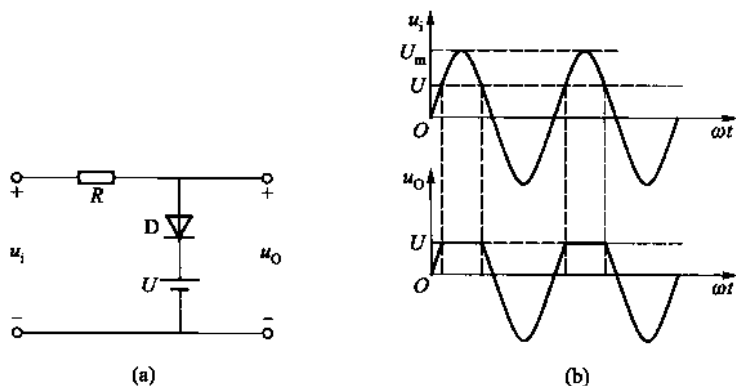


图 1-11 例 1-1 图

解 u_i 是按正弦规律变化的,当 $u_i > U$ 时,二极管 D 导通,由于 D 为理想二极管,D 导通时,管压降为零,此时 $u_o = U$;当 $u_i < U$ 时,二极管截止,该支路断开,相当于开路, $u_o = u_i$ 。根据分析,可作出 u_o 的波形如图 1-11(b)所示。

例 1-2 试判断图 1-12 所示电路中的二极管是导通还是截止,为什么?

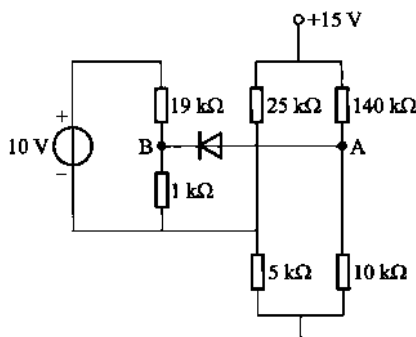


图 1-12 例 1-2 图

解 判断二极管的导通与截止,主要看二极管是处于正向偏置还是反向偏置。可将二极管除去,分别计算管子两端 A 点与 B 点电位。如果 $V_A > V_B$,则二极管导通;如果 $V_A < V_B$,则二极管截止。

图 1-12 所示电路中除去二极管后

$$V_A = \frac{10}{140 + 10} \times 15 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$V_B = \left(\frac{1}{19 + 1} \times 10 + \frac{5}{25 + 5} \times 15 \right) \text{ V} = 3 \text{ V}$$

所以

$$V_A < V_B$$

因此,二极管截止。

[练习与思考]

1-2-1 如何使用万用表来判断二极管的正、负极与好坏?

1-2-2 为什么二极管的反向饱和电流与外加电压基本无关,而当温度升高时,又明显增大?

第三节 特殊二极管

除了普通二极管外,还有一些按专门用途制造的特殊二极管,如稳压二极管、光电二极管、发光二极管等。

一、稳压二极管

1. 稳压二极管的稳压作用

稳压二极管是专门用来稳定电压的二极管,简称稳压管,它的伏安特性曲线、符号如图 1-13

所示。

稳压管通常工作在反向击穿区,且当外加反向电压撤除后,管子还是正常的,这种性能称为可逆性击穿。当然,如果反向电流太大,超过允许的最大值,则管子会因过热而烧坏,为此稳压管必须串联一个合适的限流电阻后才能工作。

稳压管外加正向电压时,其特性与普通二极管一样(如硅稳压管正向压降约为 0.6V),但它的反向击穿特性更陡些。图1-13中的 U_z 表示反向击穿电压,即稳压管的稳定电压。从稳压管的反向特性曲线可以看出,当反向电压增高到击穿电压 U_z 时,反向电流 I_z 急剧增大,当 I_z 在较大范围内变化时,稳压管的端电压 U_z 变化却很小,具有恒压特性。特性曲线越陡,稳压管的稳压性能越好。

2. 稳压二极管的主要参数

(1) 稳定电压 U_z :稳压管正常工作时管子两端的电压。由于制造工艺的原因,即使同一型号的稳压管,其稳压值也有一定的分散性。例如,2CW55型稳压管的稳压值为 $6\sim 7.5\text{V}$ 。

(2) 稳定电流 I_z :稳压管正常工作时的参考电流值。只有 $I \geq I_z$,才能保证稳压管有较好的稳压性能。但稳压管中的电流值不能超过最大稳定电流 $I_{z\text{M}}$,否则管子会因过热而损坏。

(3) 动态电阻 r_z :稳压管正常工作时,管子两端电压的变化量与相应电流变化量的比值,即 $r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$ 。 r_z 越小,稳压管的反向特性越陡,稳压性能越好。

(4) 电压温度系数 α_U :温度变化 1°C 时,稳定电压变化的百分数。电压温度系数越小,温度稳定性越好。例如,2CW58型稳压管 $\alpha_U \leq +8(10^{-4}/^\circ\text{C})$,表示温度每升高 1°C ,其稳压值将增加 0.08% 。通常稳压管在低于 4V 时具有负温度系数,高于 6V 时具有正温度系数,而在 $4\sim 6\text{V}$ 之间,温度稳定性最好。

(5) 最大耗散功率 $P_{z\text{M}}$:管子不至于产生过热损坏时的最大功率损耗值, $P_{z\text{M}} = I_{z\text{M}}U_z$ 。

3. 稳压二极管的稳压电路

图1-14是由稳压管 D_z 和限流电阻 R 组成的最简单的稳压电路。 U_1 为稳压电路的输入电压,电路的输出是负载 R_L 两端的电压 U_0 ,也就是稳压管两端的电压 U_z 。当电网电压波动引起 U_1 上升时, U_0 势必要增加,则流过稳压管的电流 I_z 便大大增加,于是 $I = I_z + I_0$ 增加很多,限流电阻 R 上的压降相应增加,致使负载两端的电压 U_0 下降,因而其值基本保持不变。就是说, U_1 的增量大部分降在限流电阻 R 上,从而保持 U_0 的基本稳定。反之, U_1 下降时,同样可以保持 U_0 的基本稳定。

同理,当负载 R_L 变动时,稳压管也能起到稳定输出电压的作用。若 R_L 减小使 U_0 减少时,稳压管的工作电流 I_z 就会减少,于是 $I = I_z + I_0$ 减少,则限流电阻 R 上的压降相应减少,就使 U_0 回升而保持基本不变。或者说,稳压管电流的减少可以使负载电流增加,从而使输出电压 U_0 保持

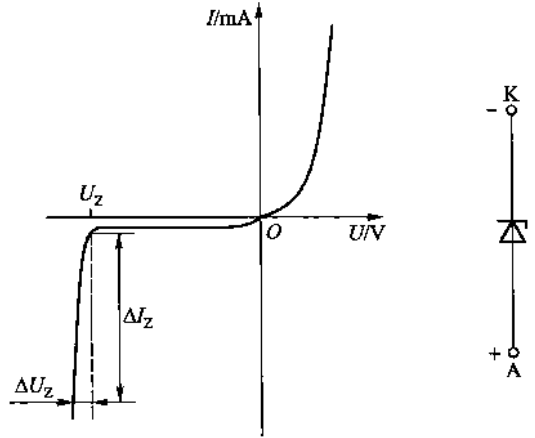


图1-13 稳压管的伏安特性曲线、符号

基本稳定。

综上所述,这种稳压电路的实质在于利用稳压管工作在反向击穿区时,其端电压略有变化而电流变化很大的特性,配合限流电阻 R 的调整作用来实现稳压。

例 1-3 图 1-15 所示稳压电路,稳压管 $I_Z = 10 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 20 \text{ mA}$, R 是限流电阻,其值是否合适? 如不合适,应选多少?

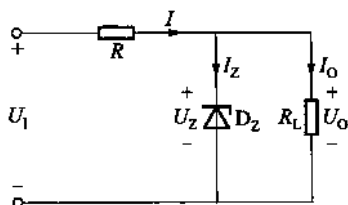


图 1-14 稳压管的稳压电路

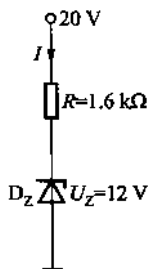


图 1-15 例 1-3 图

解

$$I = \frac{20 - 12}{1.6 \times 10^3} \text{ A} = 5 \times 10^{-3} \text{ A} = 5 \text{ mA} < 10 \text{ mA}$$

$I < I_Z$ 不合适。

限流电阻 R 的选择范围是

$$10 \text{ mA} \leq \frac{(20 - 12) \text{ V}}{R} \leq 20 \text{ mA}$$

所以

$$400 \Omega \leq R \leq 800 \Omega$$

二、光电二极管

光电二极管的特点是,当光线照射它的 PN 结时,可以成对地产生自由电子和空穴,使半导体中少子的浓度提高,这些载流子在反向偏置下可以产生漂移电流,使反向电流增加,也就是说,它的反向电流随光照强度的增加而增加。光电二极管的管壳上有一个玻璃窗口,便于接受光照。图 1-16(a)是光电二极管的导电特性,图(b)是它的符号。

光电二极管可以用来做光控元件。当制成大面积的光电二极管时,可当作一种电源,称为光电池,此时它不需外加电源,能够直接把光能转换为电能。目前,利用 PN 结的光电效应发电已经形成新的“光伏技术”,是极有发展前途的绿色能源。

三、发光二极管

发光二极管是一种直接将电能转换为光能的半导体显示器件,简称 LED。它的工作原理与光电二极管相反,当这种管子正向偏置有电流通过时会发出光来,这是电子与空穴复合时放出能量的结果。它的光谱范围是比较窄的,其波长由使用的材料而决定。不同半导体材料制成的发光二极管会发出不同颜色的光,如磷砷化镓(GaAsP)材料制成的发光二极管发出红光或黄光,磷化镓(GaP)材料制成的发光二极管发出红光或绿光,氮化镓(GaN)材料制成的发光二极管发出蓝光等。

和普通二极管一样,发光二极管的PN结封装在透明塑料管壳内,外形有方形、矩形和圆形等。发光二极管的驱动电压低,工作电流小,具有很强的抗振动和抗冲击能力,且体积小,可靠性高,寿命长,广泛用于信号指示灯电路中。电子设备中常用的数码管,就是由发光二极管按一定的排列组成的。图1-17是发光二极管的符号。

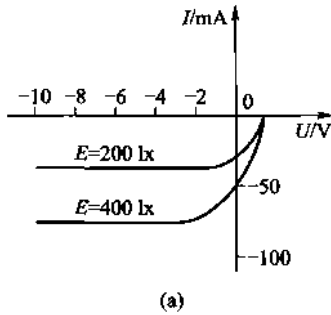


图 1-16 光电二极管的导电特性及符号

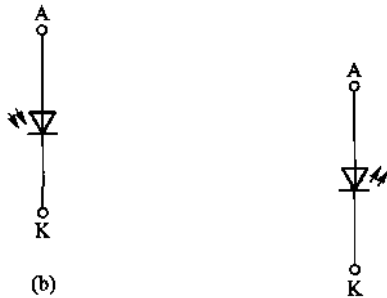


图 1-17 发光二极管的符号

[练习与思考]

1-3-1 稳压管可以串联、并联使用吗?

1-3-2 利用稳压管或普通二极管的正向压降是否也可以稳压?

第四节 晶 体 管

晶体管也称三极管,是最重要的一种半导体器件,由于其具有电流放大作用,它的出现促成了电子技术的飞跃发展。

一、基本结构

按半导体结构的不同,可把晶体管分为NPN型和PNP型两种。无论哪种型号,都由三个区组成,分别称为发射区、基区和集电区,三个区分别引出三个电极,即发射极E、基极B和集电极C。晶体管有两个PN结,发射区和基区间的PN结称为发射结,集电区和基区间的PN结称为集电结,如图1-18所示。符号中发射极箭头表示基极与发射极间电流的方向。

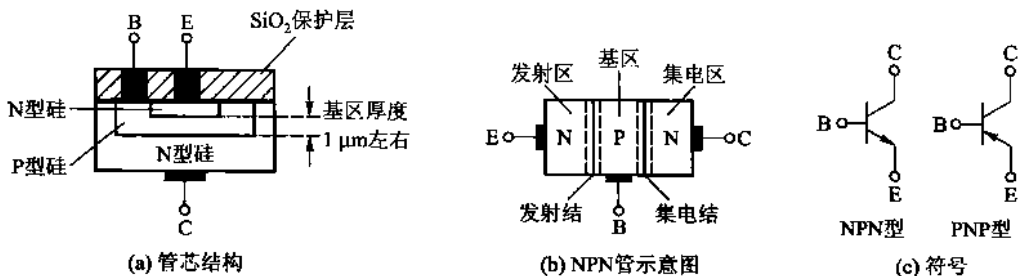


图 1-18 晶体管结构示意图及符号