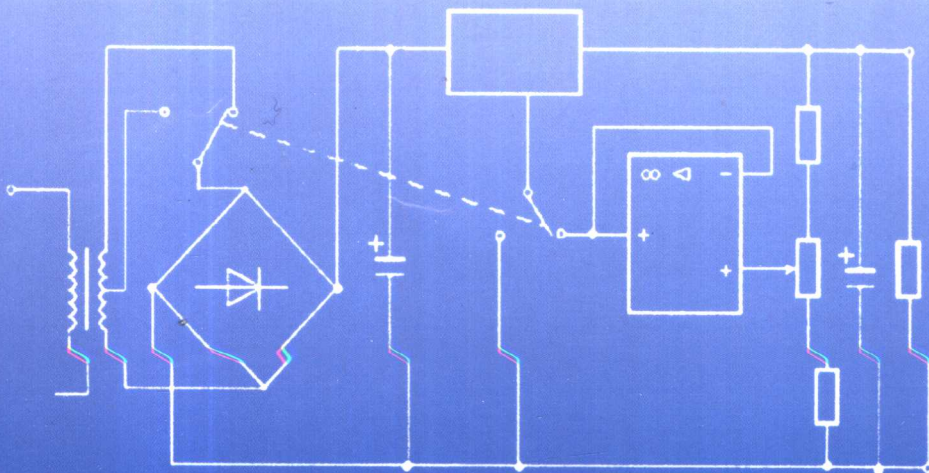




教育部高职高专规划教材

电子技术

汤光华 宋 涛 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电 子 技 术

汤光华 宋 涛 主编

邓 允 张 虎 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术/汤光华,宋涛主编. —北京:化学工业出版社,2005.5

教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-7115-9

I. 电… II. ①汤…②宋… III. 电子技术-高等学校: 技术学院-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 052921 号

教育部高职高专规划教材

电 子 技 术

汤光华 宋涛 主编

邓允 张虎 主审

责任编辑: 张建茹 唐旭华

责任校对: 李 林

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 310 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7115-9

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

高职高专电仪类专业规划教材 编审委员会

主 任 王爱广

副主任 邓 允 王黎明

委 员 (排名不分先后)

厉鼎熙	吕廉克	汤光华	于占河	郝万新	马应魁
张 虎	王永红	董 力	蔡夕忠	马克联	刘玉梅
樊明龙	任丽静	国海东	吕铁男	开 俊	王 琦
吴明亮	殷 刚	邓素萍	徐咏东	刘江彩	戴焰明
李世伟	宋 涛	郑 怡	张国华	陆建遵	黎洪坤
陈昌涛	夏鸿儒	黄 杰	王 磊	耿淑芹	何亚平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

为了适应社会经济和科学技术迅速发展及教育教学改革的需要,全国化工高职电仪类专业教学指导委员会组织有关院校经过广泛深入的调查研究和讨论,制定了高职高专电仪类专业新一轮的教材建设规划。新的规划教材根据“以市场需求为导向,以职业能力为本位,以培养应用型高技能人才为中心”的原则,注重以先进的科学发展观调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度,对电仪类专业教材的整体优化力图有所突破,有所创新。

本书是根据全国化工高职电仪类专业教学指导委员会 2004 年石家庄会议制定的教学计划和北京会议制定的《电子技术》教材编写大纲而编写的。

本书立足于高职高专人才培养目标,充分考虑高职高专学生的特点,遵循理论够用、内容实用、学了能用、突出能力培养的原则,对教学内容进行了精选,对书中的章节作了适当整合。全书概念叙述清楚,深浅合理,通俗易懂,理论联系实际。其特点主要有下面几个方面。

① 淡化器件内部结构分析,重点介绍器件的符号、特性、功能及应用。

② 突出基本概念、基本原理和基本分析方法,采用较多的图表来代替文字描述和进行归纳、对比。

③ 尽量降低理论分析、公式推导和计算难度,加大“应用实例”的篇幅。对一些公式,直接给出结论,忽略推导过程,重点介绍结论的实际意义和应用。

④ 各章后面均附有一定数量的思考题与习题;大部分章节还安排有解题指导或习题课;书末还附有部分习题参考答案,便于老师教学和学生自学。

⑤ 书中带 * 号的内容可根据学时数的多少和专业需要进行选讲。

⑥ 书中的图形符号和文字符号均采用新颁布的国家标准。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PowerPoint 课件,并将免费提供给采用本书作为教材的高职高专院校使用。如有需要可联系:txh@cip.com.cn 或 zjru68@263.net。

参加本书编写的人员都是在各高职高专院校从事电子技术教学和研究的一线教学人员,其中宋涛编写第 2、3 章、陈昌涛编写第 7、10 章、黄杰编写第 5、8、9 章、汤光华编写第 1、4、6、11 章及全书的其余部分。汤光华、宋涛任主编,汤光华负责全书的修改和统稿。

本书由邓允、张虎主审,他们对书稿进行了认真的审阅,并提出了很多好的意见和建议,在此深表感谢。

在本书的编写过程中,对所列参考文献作了一些借鉴,在本书出版之际,对参考文献的作者表示衷心感谢。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,敬请读者予以批评指正。

编者

2005 年 5 月

目 录

1 半导体二极管、三极管	1	5.2 单相整流电路	82
1.1 半导体基本知识	1	5.3 滤波电路	84
1.2 半导体二极管	3	5.4 稳压电路	86
1.3 半导体三极管	7	* 5.5 晶闸管可控整流电路	94
* 1.4 特种半导体器件简介	11	小结	99
小结	13	解题指导	99
解题指导	13	思考题与习题	99
思考题与习题	13	6 数字电路基础	103
2 交流放大电路	16	6.1 概述	103
2.1 放大电路概述	16	6.2 逻辑门电路	107
2.2 共射放大电路	17	6.3 逻辑代数的基本公式和规则	115
2.3 共集放大电路	26	6.4 逻辑函数的化简	117
2.4 MOS 场效应管及其基本放大电路	29	小结	123
2.5 多级放大电路	33	习题课	123
* 2.6 功率放大电路	36	思考题与习题	124
小结	41	7 组合逻辑电路	127
习题课	42	7.1 组合逻辑电路的分析与设计	127
思考题与习题	44	7.2 常用中规模组合逻辑电路	130
3 集成运算放大电路	50	小结	137
3.1 集成电路简介	50	解题指导	137
3.2 集成运放的线性应用电路	53	思考题与习题	138
3.3 集成运放的非线性应用电路	57	8 触发器与时序逻辑电路	139
小结	60	8.1 触发器	139
解题指导	61	8.2 时序逻辑电路的分析	144
思考题与习题	61	8.3 常用中规模集成时序逻辑器件	146
4 反馈与振荡	64	小结	153
4.1 反馈的基本概念	64	解题指导	153
4.2 负反馈对放大器性能的影响	67	思考题与习题	155
4.3 正反馈与自激振荡	70	9 555 集成定时器及应用	158
4.4 LC 正弦波振荡器	71	9.1 555 集成定时器	158
* 4.5 RC 桥式正弦波振荡器	74	9.2 555 集成定时器的应用	159
4.6 石英晶体振荡器	75	小结	164
4.7 应用实例	77	思考题与习题	164
小结	78	10 数-模转换与模-数转换	167
解题指导	78	10.1 概述	167
思考题与习题	78	10.2 数-模 (D/A) 转换器	167
5 直流稳压电源	82	10.3 模-数 (A/D) 转换器	171
5.1 概述	82	小结	175

思考题与习题	175
* 11 半导体存储器	176
11.1 随机存储器 (RAM)	176
11.2 只读存储器 (ROM)	178
小结	181

思考题与习题	182
附录	183
部分习题答案	191

1 半导体二极管、三极管

半导体二极管、三极管是电子电路中应用极为广泛的元器件。本章在介绍半导体基本知识和 PN 结的基础上,先介绍半导体二极管、三极管的结构、原理、特性和主要参数,最后简单介绍特种半导体器件,为学习后续各章奠定基础。

1.1 半导体基本知识

1.1.1 本征半导体

导电性能介于导体与绝缘体之间的物质称半导体。常用的半导体有硅和锗,它们的原子最外层都有四个价电子,见图 1-1 所示。将它们提纯后,其原子结构排列成晶体状,称单晶硅和单晶锗。这种完全纯净的半导体晶体称为本征半导体。图 1-2 是本征半导体在热力学零度时的情况。原子与原子之间的相邻价电子“手拉手”形成共价键结构,半导体晶体结构是三维的,图中表示的是二维结构。这种具有共价键结构的半导体有下述特点。

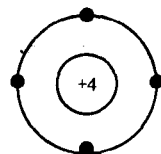


图 1-1 硅或锗的简化原子结构模型

① 共价键上的电子束缚较紧,不像自由电子那样活泼,所以其导电性能不如导体。

③ 共价键上的某些电子受外界能量(如受热或光照)激发后,可以挣脱共价键束缚而成为带负电荷的自由电子,如图 1-3 所示。自由电子在电场力作用下,逆着电场方向作定向运动,形成电子流。所以,自由电子是半导体中的载流子之一。

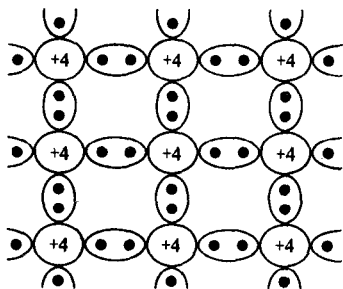


图 1-2 晶体共价键结构示意图

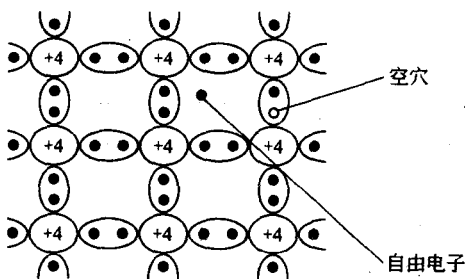


图 1-3 本征激发产生自由电子和空穴

③ 共价键上的电子挣脱束缚成为自由电子后,在其原来的位置留下一个空位,称空穴。空穴是一种带正电荷的粒子,它对电子有吸引作用。在外电场的作用下,产生共价键上的价电子依次填补空穴的运动,形成空穴电流。所以,空穴是半导体中的载流子之二。

本征半导体中有两种载流子(电子和空穴)同时参与导电,这是半导体区别于金属导体的一个重要特性。但是在常温下,本征半导体中载流子很少,导电能力很弱。采用特殊工艺向单晶硅(或锗)中掺入微量的杂质元素,半导体的导电能力将发生显著的改变。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量有用杂质后的半导体称为杂质半导体。因掺入杂质性质不同,杂质半导体可分为空穴(P)型半导体和电子(N)型半导体两大类。

(1) P 型半导体

在硅（或锗）的晶体内掺入微量的三价元素硼（或铝），成为 P 型半导体。如图 1-4 所示。因硼原子只有 3 个价电子，它与周围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，它被邻近原子的价电子填补后，成为负离子，而原来硅（或锗）原子的共价键则因缺少一个电子，形成空穴。注入三价元素越多，空穴越多。此外，在 P 型半导体中，由于热运动还产生少量的电子空穴对。所以，在掺入三价元素的半导体中，空穴是多数载流子，电子是少数载流子，称空穴型半导体，或称 P 型半导体。

(2) N 型半导体

在硅（或锗）的晶体内掺入微量的五价元素磷（或砷），成为 N 型半导体。如图 1-5 所示。因磷原子有 5 个价电子，其中 4 个与周围硅原子形成共价键，成为固定在晶格中不动的正离子，多余的一个自由电子用以增强半导体的导电能力。注入五价元素越多，自由电子数量越大。同理，在 N 型半导体中，由于热运动还产生少量的电子空穴对。所以，在掺入五价元素后的杂质半导体中，电子是多数载流子，空穴是少数载流子，称为电子型半导体，或称 N 型半导体。

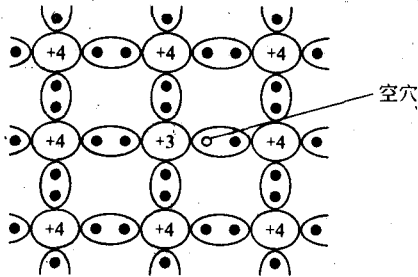


图 1-4 P 型半导体结构示意图

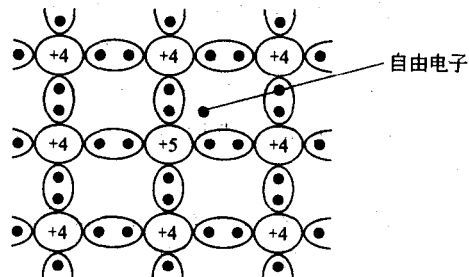


图 1-5 N 型半导体结构示意图

应当指出，本征半导体掺入某种杂质的过程中，既不损失电荷，也未获得电荷，整个半导体内正负电荷处于平衡状态，所以杂质半导体呈电中性。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

当 P 型半导体和 N 型半导体结合后，在它们的交界面处形成载流子浓度的差异。P 区空穴多，电子少；N 区电子多，空穴少。于是 N 区电子要向 P 区扩散，并与 P 区的空穴相复合；同时，P 区的空穴向 N 区扩散，并与 N 区中的电子复合。这种由于浓度差而引起的运动称为扩散运动，如图 1-6 所示。扩散的结果使 N 区电子减少，留下带正电的杂质离子，形成正离子区；P 区空穴减少，留下带负电的杂质离子，形成负离子区。这些不能移动的带电粒子通常称为空间电荷，它们集中在 P 区和 N 区的交界处，由这些带电的正负粒子所组成的很薄区域，称为空间电荷区，即 PN 结，如图 1-7 所示。在这个区域内，多数载流子已扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此空间电荷区又称为耗尽层。扩散越强，空间

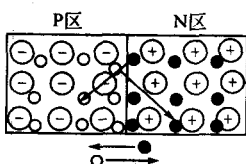


图 1-6 载流子的扩散运动

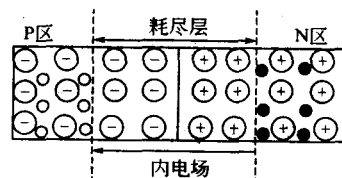


图 1-7 PN 结的形成

电荷区越宽。

空间电荷区形成以后,产生一个从N区指向P区的内电场。这个内电场,一方面对多数载流子的扩散有阻挡作用,另一方面将使N区内的少数载流子空穴向P区运动,使P区内的少数载流子电子向N区运动。通常把少数载流子在电场作用下有规则的运动称为漂移运动。电场力越大,漂移运动越强。由以上分析可知,漂移运动的方向正好与扩散运动的方向相反。当漂移运动与扩散运动达到相等时,PN结内部便处于动态平衡状态。

给PN结加电压,即P区接正极,N区接负极,称给PN结加正向电压,如图1-8所示。这时外电场削弱内电场,使PN结变薄,呈现出很小的电阻,称PN结导通。P区接负极,N区接正极,称给PN结加反向电压,如图1-9所示。这时外电场加强内电场,使PN结变厚,呈现出很大的电阻,称PN结截止。可见PN结具有单向导电性。

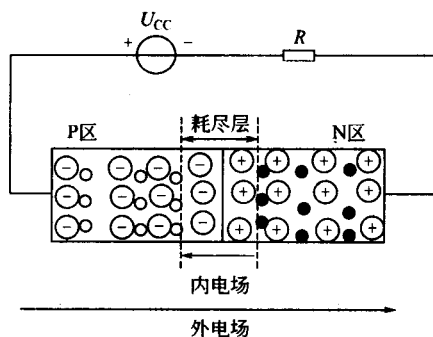


图 1-8 外加正向电压时的 PN 结

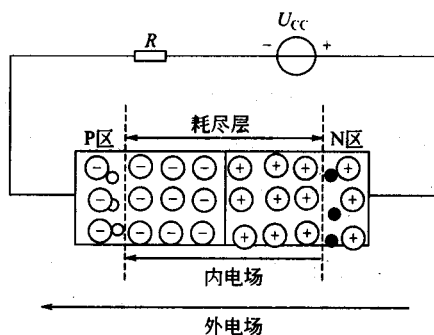


图 1-9 外加反向电压时的 PN 结

1.2 半导体二极管

1.2.1 半导体二极管的分类、结构与符号

半导体二极管是由一个PN结、加上相应的电极引线和管壳做成的电子元件。按所用材料分,有硅管、锗管和砷化镓管等;按用途分,有整流二极管、检波二极管、开关二极管、特殊二极管等;按结构分,有点接触型二极管和面接触型二极管两种。点接触型二极管的结构如图1-10(a)所示。它的特点是PN结的面积非常小,因此不能通过较大电流;但高频性能好,故适用于高频和小功率工作,一般用于检波和脉冲电路。面接触型二极管的结构如图1-10(b)所示。它的主要特点是PN结的结面积很大,故可通过较大的电流;但工作频率较低,一般用作整流。二极管的符号如图1-10(c)所示,文字符号为VD。有关二极管的型号命名方法可参见附录1。

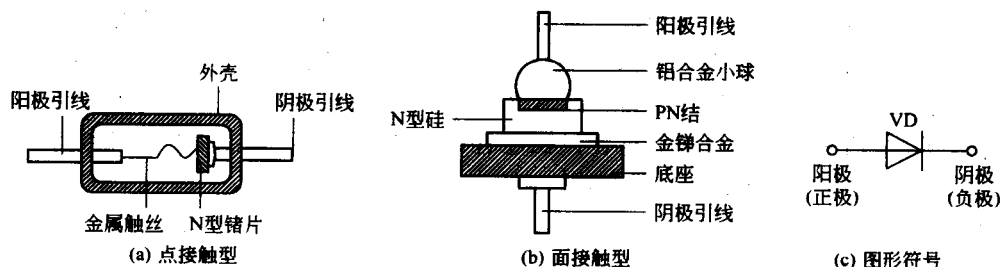


图 1-10 半导体二极管的结构和图形符号

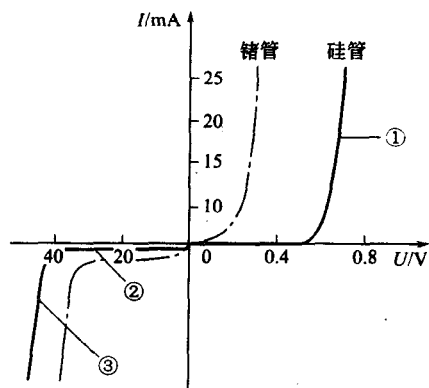


图 1-11 二极管伏安特性曲线

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管两端的电压与通过的电流的关系曲线称二极管的伏安特性。可以通过实验或晶体管特性图示仪测出。实际二极管的伏安特性如图 1-11 所示,下面对伏安特性分三部分加以说明。

(1) 正向特性

正向特性对应于图 1-11 中的①段。当正向电压超过某一数值后,才有明显的正向电流,该电压称为门坎电压 U_{th} (又称死区电压)。在室温下,硅管的 U_{th} 约为 0.5V,锗管约为 0.1V。正向导通时,硅管的压降约为 0.6~0.8V,锗管约为 0.1~0.3V。

(2) 反向特性

反向特性对应于图 1-11 中②段。此时反向电流极小,可以认为二极管基本不导通。反向电流越小,二极管的反向截止性能越好。一般硅管的反向电流比锗管小得多。但温度升高,反向电流将随之增加。

(3) 反向击穿

反向击穿如图 1-11 中的③段所示。当反向电压增加到一定数值时,反向电流突然剧增,二极管失去单向导电性,这种现象称为“反向击穿”。此时所加的反向电压称为“反向击穿电压”。反向击穿电压随所用材料和结构的不同而不同,一般在几十伏以上,有的甚至可达几千伏。

1.2.3 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_F

指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。超过这一数值时二极管将因过热而烧坏。工作电流较大的大功率管子还必须按规定安装散热装置。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

指二极管在使用时所允许加的反向电压峰值。超过 U_{RM} 时二极管就有被反向击穿的危险。一般手册上给出的最高反向工作电压约为反向击穿电压的一半,以保证管子安全运行。

二极管的参数还有最高工作频率、反向电流、极间电容等,均在半导体器件手册中可查到。本教材附录 3 给出了常用半导体二极管的主要参数,可供选用时参考。

1.2.4 特殊二极管

(1) 稳压二极管

稳压二极管简称稳压管。是一种用特殊工艺制造的面结合型二极管,电路符号及伏安特性如图 1-12 所示。稳压管的正向特性和反向特性与普通二极管相同,但在反向击穿区具有更陡峭的特性曲线,尽管电流变化很大而反向击穿电压却几乎不变,因此稳压管具有稳压作用。并且曲线越陡,动态电阻 $r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$ 越小,稳压管的稳压性能越好。只要在外电路上采取限流措施,使反向击穿时不致引起热击穿,稳压管就不会损坏。当外加电压撤消后,稳压管的 PN 结仍可恢复其单向导电性。稳压管用 2CW、2DW 命名,文字符号为 VZ。表 1-1 列出了几种典型的稳压管的主要参数。

(2) 发光二极管 (LED)

发光二极管是由半导体砷、磷、镓及其化合物制成的一种电子器件。反向截止时不发光,正向导通时能发出红、绿、黄、橙等单色光,常用文字 LED 表示。在工作时只需加

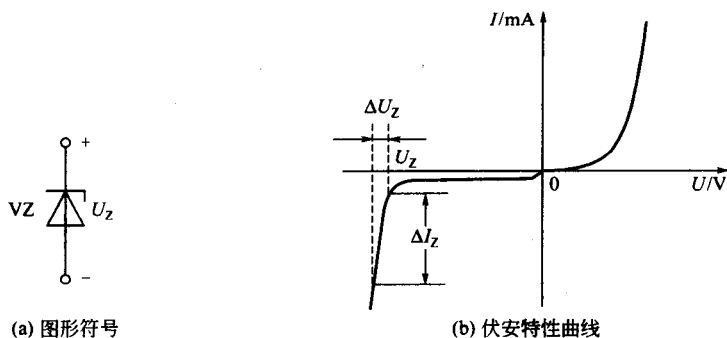


图 1-12 稳压二极管的图形符号及伏安特性曲线

表 1-1 几种典型的稳压管的主要参数

型 号	稳定电压 U_Z/V	稳定电流 I_Z/mA	最大稳定电流 I_{ZM}/mA	耗散功率 P_M/W	动态电阻 r_z/Ω	温度系数 $k/(%/^{\circ}C)$
2CW11	3.2~4.5	10	55	0.25	<70	$-0.05 \sim +0.03$
2CW15	7~8.5	5	29	0.25	≤ 10	$+0.01 \sim +0.08$
2DW7A	5.8~6.6	10	30	0.20	≤ 25	0.05

1.5~3V 正向电压和几毫安电流就能正常发光。它具有体积小、反应快、光度强、寿命长等特点。广泛用于各种指示电路。其符号如图 1-13 所示。

(3) 光电二极管

利用半导体的光敏特性制造而成。它的结构与普通二极管相似，它只有一个 PN 结，这个结装在管子顶部。管顶部有透明的玻璃窗口，PN 结可直接接受光的照射。在电路中，给光电二极管加反向电压，无光照射时，因 PN 结反偏，电流很小；当有光照射时，产生“光电流”，其大小与光照强度成正比。光电二极管的符号如图 1-14 所示。光电二极管常用于光电转换电路。光电二极管的符号如图 1-14 所示。光电二极管常用于光电转换电路。

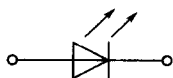


图 1-13 发光二极管的图形符号



图 1-14 光电二极管的图形符号

1.2.5 应用实例

(1) 整流应用

所谓整流是指将交流电变为直流电。利用二极管的单向导电性可组成各种整流电路。如图 1-15 (a) 所示为一个单相半波整流电路，图 1-15 (b) 为其工作波形。

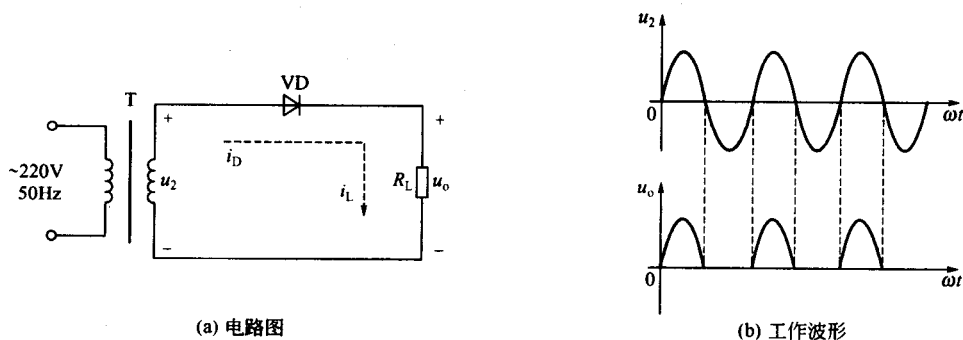


图 1-15 半波整流

(2) 限幅应用

将输出电压限制在某一电压值以内的电路称为限幅电路。图 1-16 所示为一双向限幅电路及其工作波形。设图中 $U_{REF} = \pm 5V$, VD_1 、 VD_2 正向压降忽略不计。

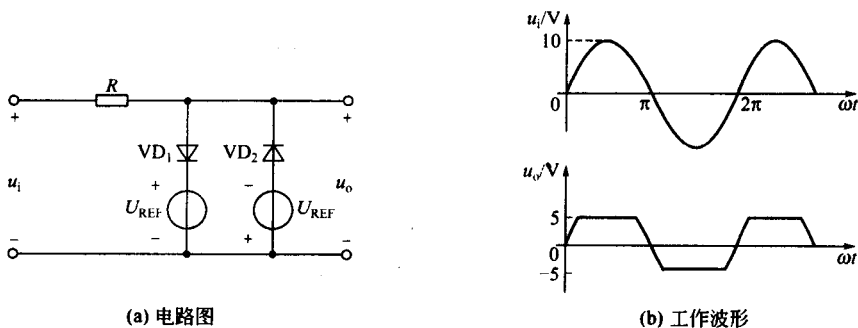


图 1-16 二极管双向限幅电路

(3) 检波应用

用低频信号去控制高频载波信号参数的过程称为调制。经高频传送以后，在接收端从高频载波信号中将低频信号恢复，称为解调或检波。一个二极管检波电路如图 1-17 (a) 所示。基本工作原理是，高频信号 u_i 的正半周，二极管导通，则有电流 i_c 对电容充电， u_o 上升。这时二极管两端电压 u_D 为 u_i 与 u_o 之差，当 $u_D < 0$ 时，二极管截止，电容 C 向电阻 R 放电， u_o 按指数曲线下降。只要 $RC \gg R_D C$ (R_D 为二极管正向电阻)，就会得到如图 1-17 (b) 波形。

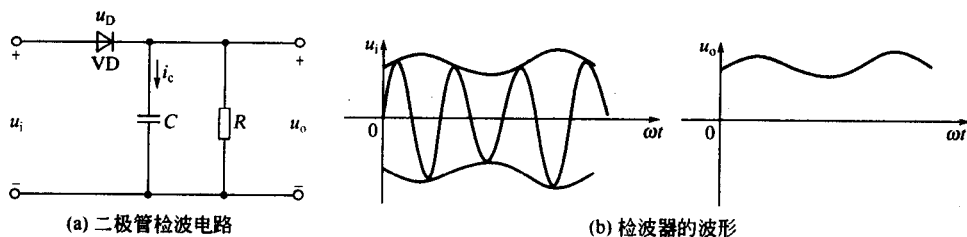


图 1-17 二极管检波电路及波形

(4) 保护应用

在电子电路中，常用二极管来保护其他元件免受过高电压的损害。图 1-18 所示是继电器触点的保护电路。当继电器触点断开时，电流突然中断，继电器线圈会产生高于电源电压好多倍的自感电动势。该电动势与电源电压叠加作用到继电器触点上，并产生火花，影响继电器触点寿命，同时可能损坏三极管。接入二极管以后，感应电动势通过二极管产生放电电流，使继电器线圈中储存的能量不经过触点放掉，从而保护了触点和三极管不受损坏。

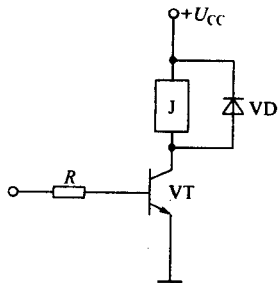


图 1-18 二极管保护电路

(5) 光电传输

图 1-19 为光电传输系统。发光二极管将电信号变为光信号，通过光缆传输，然后再用光电二极管接收，再现电信号。图的左边表示 1 个发光二极管发射电路通过光缆驱动 1 个光电二极管电路。在发射端，1 个 $0 \sim 5V$ 的脉冲信号通过 500Ω 的电阻作用于发光二极管 (LED)，这个驱动电路可使 LED 产生 1 个数字光信号，并

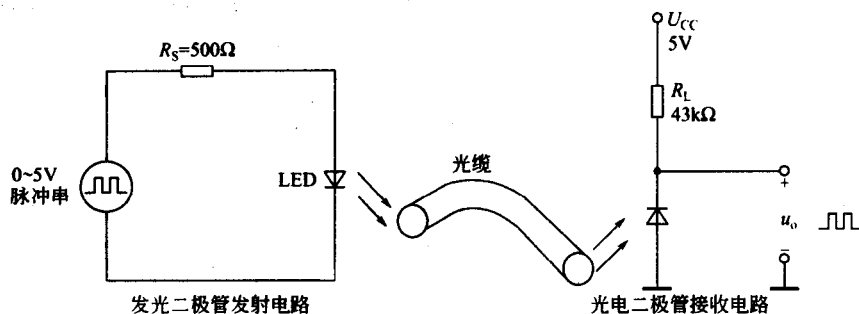


图 1-19 光电传输系统

作用于光缆。由 LED 发出的光约有 20% 耦合到光缆。在接收端，传送的光中约有 80% 耦合到光电二极管，以致在接收电路的输出端复原为 0~5V 电平的数字信号。

1.3 半导体三极管

半导体三极管简称晶体管或三极管，它由两个相互联系、相互影响的 PN 结所构成，是组成放大电路的核心元件。常用的一些晶体管外形如图 1-20 所示。

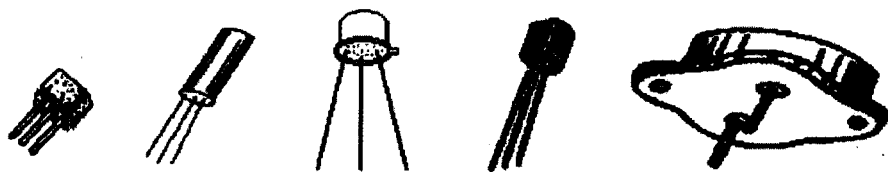


图 1-20 常见的几种三极管外形示意图

1.3.1 结构与符号

根据结构不同，三极管可分为 NPN 型和 PNP 型两大类，图 1-21 是三极管的结构示意图和图形符号，文字符号为 VT。由图可以看出，管子的内部都是由三层半导体构成，分别称为发射区、基区和集电区；由三个区各引出一个电极，分别称为集电极 (C)、基极 (B) 和发射极 (E)；三层半导体形成两个 PN 结，分别称为发射结和集电结。

三极管制造工艺特点是，发射区掺杂浓度高，基区掺杂浓度低且很薄，集电区面积大。这种内部结构和工艺特点是保证晶体管具有电流放大作用的内因，在使用时，发射极和集电极不能互换。国产三极管的命名方法详见附录 1。

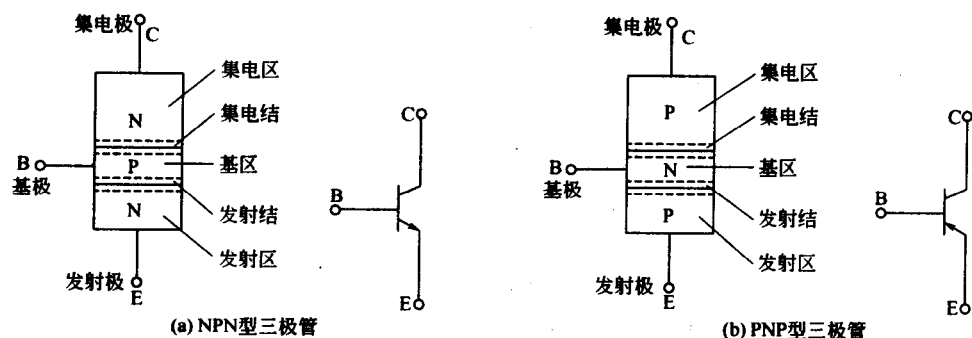


图 1-21 半导体三极管结构示意图及图形符号

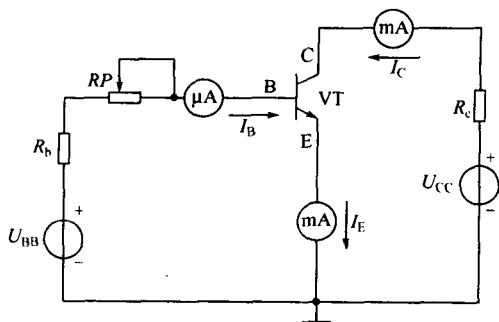


图 1-22 三极管电流放大作用测试电路

1.3.2 电流分配与电流放大作用

三极管能够放大信号,除了内部结构和工艺特点满足要求外,还必须具备一定的外部条件,即给三极管的发射结加正向电压(习惯称正向偏置或正偏),集电结加反向电压(习惯称反向偏置或反偏)。为了了解晶体管的电流分配和电流放大作用,以NPN型三极管为例,按图1-22所示电路做一个实验。

在图1-22所示电路中, $U_{CC} > U_{BB}$,电源极性如图所接。这样就保证了三极管发射结正向偏置、集电结反向偏置的外部工作条件。调节电位器RP,基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 、发射极电流 I_E 都会生变化,测量结果如表1-2所示。

表 1-2 测试数据

次数 电流	1	2	3	4
$I_B/\mu A$	10	30	40	60
I_C/mA	0.99	2.16	2.96	4.56
I_E/mA	1	2.19	3	4.62

由实验数据可得出如下结论。

- ① 发射极电流等于基极电流与集电极电流之和,即

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

此结果符合基尔霍夫电流定律。

- ② I_C 要比 I_B 大得多。从第3次、第4次的测试数据可知 I_C 与 I_B 的比值分别为

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{2.96}{0.04} = 74, \quad \frac{I_C}{I_B} = \frac{4.56}{0.06} = 76$$

即 I_C 要比 I_B 大数十倍。

- ③ I_B 的小变化引起 I_C 的大变化。比较第3、4次所测数据,基极电流和集电极电流的相对变化为

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{4.56 - 2.96}{0.06 - 0.04} = 80$$

由此得出一个极为重要的结论,基极电流较小的变化可以引起集电极电流较大的变化。这种利用基极电流的微小变化使集电极电流产生较大变化的控制作用,就是三极管“以小控大,以弱控强”的电流放大作用。

三极管的电流放大作用也可用晶体管内部载流子的运动规律来解释。由于发射结加了正向电压,发射区的多数载流子(自由电子)很容易越过发射结扩散到基区,并由电源不断向发射区补充电子,形成发射极电流 I_E 。由于基区很薄而且空穴浓度很低,所以扩散到基区的电子仅有少部分与空穴相遇复合掉,电源 U_{BB} 再从基区拉走相应的电子,形成基极电流 I_B 。大多数的电子在浓度差作用下继续向集电结扩散,由于集电结反向偏置,所以从基区扩散来的电子很容易漂移过集电结而到达集电区,被集电区收集而形成集电极电流 I_C 。所以 I_B 远小于 I_C ,而 I_C 近似等于 I_E 。

1.3.3 三极管的特性曲线

三极管的特性曲线是指各电极电压与电流之间的关系曲线，它是三极管内部载流子运动的外部表现。对于三极管不同的连接方式，有不同的特性曲线，下面讨论最常用的共射极接法的输入特性和输出特性曲线。

(1) 输入特性

当 U_{CE} 一定时, I_B 与 U_{BE} 之间的关系曲线称为三极管的输入特性, 即

$$I_B = f(U_{BE}) \mid U_{CE} = \text{常数}$$

输入特性通常可用晶体管特性测试仪测出。图 1-23 是硅 NPN 型三极管的输入特性曲线。

由图可知, 三极管的输入特性曲线是非线性的, 与二极管正向特性相似, 也有一段死区电压 (硅管约 0.5V, 锗管约 0.1V)。当三极管正常工作时, 发射结压降变化不大, 该压降称为导通电压 (硅管约 0.6~0.8V, 锗管约 0.2~0.3V)。特别应该指出, 当 U_{CE} 增大时, 输入特性曲线会略向右平移, 但 U_{CE} 大于 1V 以后, 输入特性曲线基本不再向右平移而趋于重合。

(2) 输出特性

当 I_B 一定时, I_C 与 U_{CE} 之间的关系曲线称为三极管的输出特性, 即

$$I_C = f(U_{CE}) \mid I_B = \text{常数}$$

输出特性通常可用晶体管特性测试仪测出。图 1-24 是硅 NPN 型三极管的输出特性曲线。对应于 I_B 的每一个确定值均有一条输出特性曲线, 所以输出特性曲线是个曲线族。

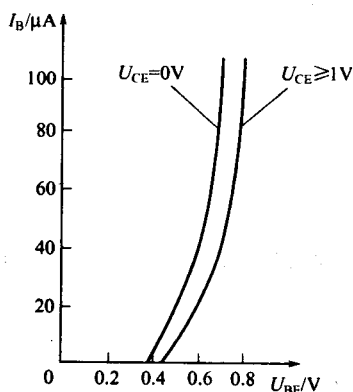


图 1-23 三极管的输入特性曲线

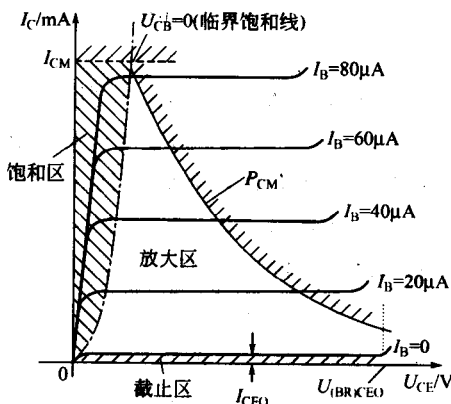


图 1-24 三极管的输出特性曲线

观察三极管的输出特性曲线, 它大致分为三个区域。

① 截止区 $I_B \leq 0$ 的区域称为截止区, 这时 $I_C \approx 0$ 。为了使三极管可靠截止, 常在发射结上加反向电压。因此, 截止的外部条件是发射结和集电结均反向偏置。

② 放大区 输出特性曲线近似水平部分是放大区。在此区域内, I_C 的变化基本上与 U_{CE} 无关, I_C 只受 I_B 控制, 反映了三极管的电流放大特性。三极管工作在放大状态时, 发射结处于正向偏置, 集电结处于反向偏置。

③ 饱和区 曲线靠近纵轴的区域是饱和区。此时发射结与集电结均处于正向偏置。这时的 I_C 已达到饱和程度, 不受 I_B 的控制, 三极管失去了电流放大作用。饱和时集电极与发射极之间的压降称为饱和压降 U_{CES} , 其值很小 (硅管约为 0.3V, 锗管约为 0.1V)。

1.3.4 三极管的主要参数及温度影响

(1) 三极管的主要参数