

电力工业学校教材

电子技术

杭州电力学校 曹国民 主编

China Electric Power Press

中国电力出版社

电力工业学校教材

电子技术

杭州电力学校 曹国民 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书讲述电子技术的基本理论和基本知识,尤其对电子电路中常用的元器件、基本单元电路作了较为详细的介绍。

全书共分为九章,内容主要包括:半导体的基本知识和常用半导体元件,基本放大电路,运算放大电路和负反馈放大电路,正弦波振荡器,直流稳压电源,数字电路的基本知识,组合逻辑电路,时序逻辑电路和 A/D、D/A 转换器。

本书按电力工业学校电厂热能动力设备运行及检修专业(四年制)的《电子技术教学大纲》编写,可作为电厂热能动力设备运行及检修专业的教材,也可作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/曹国民主编.-北京:中国电力出版社,1999.9

电力工业学校教材

ISBN 7-5083-0124-2

I. 电… II. 曹… III. 电子技术-专业学校-教材 IV. TN

-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43903 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

*

1999 年 10 月第一版 2003 年 7 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 227 千字

印数 4001—7000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

近年来,电力职业技术教育在结构改革过程中,创建了中专和技校融为一体的新型办学模式,形成统一的电力工业学校。与此同时,进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可缺少的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足电力工业学校教学工作的急需,并促进教学质量不断提高,从1996年底开始,着手组织力量进行教材改革的研究探索和教材建设的安排部署。中国电力企业联合会教育培训部先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组,组建了电力工业学校教材编审委员会,颁布了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》等。

我会遵照上级有关教材建设的文件精神,积极组织全国电力工业学校(含中专、技工学校)的广大教师,按部颁电厂热力设备运行与检修专业教学计划(试行)设置的课程,申报并被确定了8门课为重点教材,由部统一组织出版发行。其余20余门一般教材,由教研会组织出版发行。这批教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标,突出教材的定向性或针对性,以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求,作为界定教材内容的依据,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论同实践紧密结合,传授知识同培训技能紧密结合,精选教材内容,删繁就简,返璞归真,充实技术性、工艺性、使用性的内容,而且体现先进性和科学性的原则;注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些论证,减少不必要的数学推导;在内容的编排、组合上,一是最大限度地做到模块化,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段、不同专业采用;二是使理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力的培养这一主线,采用以实际训练为轴心的把讲授、实验、实习融于一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。预期经过几年的努力,将会形成一套具有电力职业技术教育特色、以职业能力培养为主线、门类比较齐全、形式比较多样,并能与其它教育相衔接、兼顾职工培训需要的教材体系。

全国电力职业技术教育委员会
动力类专业教学研究会

1998年10月

前 言

《电子技术》是电力工业学校电厂热力设备运行与检修专业（四年制）的教材，是按照中国电力企业联合会教育培训部 1996 年 11 月颁发的教学计划（试行）和以动力类专业教研会组织审定过的教学大纲为依据进行编写的。

遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路，本教材力求贯彻以能力为本位的方针，在内容的取舍上，以够用为度，适当介绍一些新器件、新组件；在内容安排上，以集成电路为主、分立元件为辅，遵从“管为路用”和“分立为集成服务”的原则。全书共分为九章，除了介绍放大、反馈、振荡、稳压、脉冲和数字电路等方面的基本知识以外，还对微机测量和控制系统中广泛涉及的三态门、集电极开路门、A/D 转换器和 D/A 转换器作了较大篇幅的讲解。

本书由杭州电力学校曹国民主编，并编写第 1、2、3、4、5、9 章；河南电力工业学校张清编写第 6、7、8 章。本书由山东电力学校杨新德主审。

在编写过程中，还得到了杭州机械工业学校姜萌老师的支持和帮助，谨表谢意。

对于书中存在的缺点和不足之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1999 年 2 月

目 录

序

前 言

第一章 常用半导体元件	1
第一节 半导体和 PN 结	1
第二节 二极管和其它半导体元件	5
第三节 半导体三极管	10
第四节 场效应晶体管	15
小结	18
思考题	19
习题	19
第二章 交流放大电路	21
第一节 基本放大电路	21
第二节 基本放大电路的图解法	22
第三节 微变等效电路分析法	25
第四节 静态工作点稳定的偏置电路	29
第五节 功率放大电路	31
小结	35
思考题	35
习题	36
第三章 直流放大器 and 运算放大器	37
第一节 放大器的直接耦合	37
第二节 差动放大器	39
第三节 集成运算放大器	43
第四节 放大器中的反馈	50
小结	57
思考题	58
习题	58
第四章 正弦波振荡器	60
第一节 振荡器的基本概念	60
第二节 RC 正弦波振荡器	62
第三节 LC 正弦波振荡器	64
第四节 石英晶体正弦波振荡器	66
小结	68
思考题	69
习题	69
第五章 直流稳压电源	70

第一节	直流稳压电源概述	70
第二节	单相整流电路	70
第三节	滤波电路	73
第四节	硅稳压管稳压电路	75
第五节	晶体管串联型稳压电路	77
第六节	集成稳压电路	79
小结	.....	81
思考题	.....	82
习题	.....	82
第六章	数字电路基本知识	83
第一节	数制和码制	83
第二节	逻辑代数的基本运算	87
第三节	逻辑函数的代数化简法	90
小结	.....	93
思考题	.....	93
习题	.....	94
第七章	组合逻辑电路	95
第一节	集成逻辑门电路	95
第二节	组合逻辑电路	106
第三节	编码器和译码器	109
小结	.....	116
思考题	.....	117
习题	.....	118
第八章	时序逻辑电路	120
第一节	触发器	120
第二节	555 定时器及其应用	125
第三节	时序逻辑电路	129
小结	.....	135
思考题	.....	135
习题	.....	136
第九章	A/D 和 D/A	139
第一节	模/数和数/模转换概述	139
第二节	数/模转换器 (DAC)	140
第三节	模/数转换器 (ADC)	143
小结	.....	148
思考题	.....	148
习题	.....	149
附录一	国内外半导体器件型号命名方法	150
附录二	我国集成电路型号命名方法	152
参考文献	.....	155

第一章 常用半导体元件

【内容提要】 电子技术的发展取决于电子元器件的发展。自1948年世界上发明了第一个半导体元件——晶体管以来,电子技术才开始快速地发展了起来。1959年,世界上发明了第一块半导体集成电路,使电子技术的发展又进入了一个新的阶段。从1959年到现在,仅过了短短的40年时间,集成电路已从一开始的小规模集成电路发展到了现在的超大规模集成电路。目前人们已具备在一块半导体芯片上集成大约两千八百万只晶体管的能力,而且集成度还在以每18个月翻一倍的速度提高。所以,电子元器件的发展是相当迅速的。但不论是晶体管还是集成电路,都是由半导体材料制成的,为此,本章首先讨论半导体的导电特性,在此基础上,再介绍二极管、三极管、场效应管和晶闸管等几种常用半导体元件。

第一节 半导体和PN结

一、半导体及其导电特性

世界上的物质按导电能力大致可以分为三大类:导电能力特别强的物质称为导体,如金、银、铜、铝、铁等;导电能力特别差的物质称为绝缘体,如塑料、陶瓷、玻璃等;导电能力介于导体和绝缘体之间的物质就叫作半导体,如硅、锗和大多数金属氧化物。

半导体材料之所以获得广泛的应用,并不是由于其导电能力介于导体和绝缘体之间的缘故,而是由于下面两个特点:第一,半导体的导电能力受温度和光照的影响很大;第二,半导体的导电能力受掺杂物的影响很大。那么,半导体为什么会有这样的特点呢?这就必须从半导体的原子结构说起。

1. 本征半导体

不含任何杂质的半导体称为本征半导体。硅和锗是两种常用的本征半导体材料,其原子结构如图1-1所示,它们的最外层都有四个电子,属四价元素。硅和锗元素的原子在构成本征半导体的时候,是以一定的规律整齐地排列而形成一种单晶体结构,因此我们称硅和锗为单晶硅和单晶锗。

在本征半导体的晶体结构中,每个原子都和相邻的四个原子结合,每个原子的一个价电子都和相邻的另一个原子的价电子组成电子对,这对价电子为两个原子所共有,构成共价键结构,如图1-2所示。这样,每个原子的价电子除了受自身原子核的束缚以外,还要受共价键的束缚,因此,每个价电子都处于较为稳定的状态。不过,共价键中的电子还没被束缚得像绝缘体中那样紧,在受热

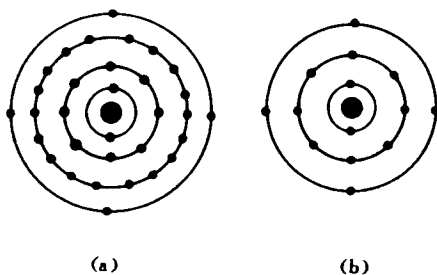


图 1-1 硅和锗的原子结构

(a) 锗 (Ge); (b) 硅 (Si)

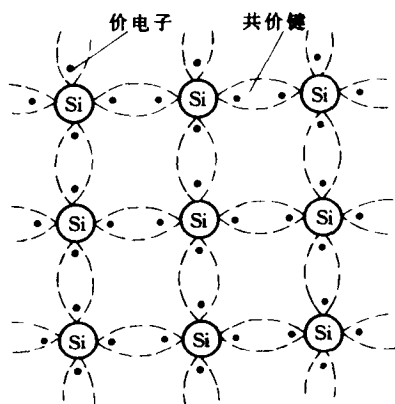


图 1-2 硅单晶体中的共价键结构

或光照的情况下，部分价电子就会获得能量而挣脱共价键的束缚，成为自由移动的电子，而且，温度越高、光照越强，晶体中产生的自由电子就越多。

当电子挣脱共价键的束缚而成为自由电子的时候，在原来共价键的位置上就留下了一个空位，这个空位就叫空穴。由于原子是电中性的，原子失去一个电子后就带一个单位的正电荷，因此，可以认为空穴带有一个单位的正电荷。当相邻共价键中的电子因受电场作用来填补这个空穴的时候，这个空穴便消失，而相邻共价键上会出现一个新的空穴，这个新的空穴又会被相邻共价键中的电子所填补，如图 1-3 所示。这种价电子不断填补空穴的运动，相当于空穴自身反方向的迁移

运动。由于空穴带有正电荷，空穴的运动必将产生电流，所以空穴是一种运载电流的粒子，我们把这种运载电流的粒子叫做载流子。当然，除空穴外，本征半导体中还有一种载流子——自由电子。由此可见，半导体的导电不仅依靠自由电子，还依靠空穴，显然，它的导电和仅靠自由电子的金属的导电有着本质的区别。

在本征半导体中，自由电子和空穴总是成对出现（我们称它们为电子—空穴对），同时又不断复合。在一定的温度或光照条件下，电子—空穴对的产生和复合将达到动态平衡。温度越高或光照越强，电子—空穴对的数量就越多，导电能力也就越强；反之，则导电能力越弱。所以，温度和光照对半导体的导电能力影响很大。由于半导体的这一特点，工程上常用它来制造光敏电阻和热敏电阻。

2. 杂质半导体

本征半导体中，尽管有电子、空穴两种载流子，但在常温下其数量极少，导电能力很差。若掺入少量的杂质，会使半导体的导电能力大大提高。根据掺杂的不同，杂质半导体分为 P 型半导体和 N 型半导体两种。

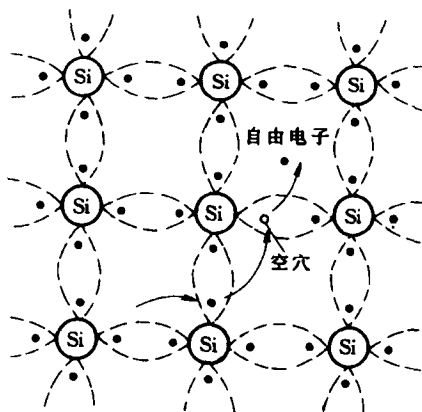


图 1-3 载流子运动示意图

(1) N 型半导体 在本征半导体中掺入少量五价杂质元素（如磷等）后形成的半导体称为 N 型半导体，如图 1-4 所示。由于掺入了五价元素，共价键结构中的小部分四价原子就被五价杂质原子所取代。该五价杂质原子在跟附近的四个元素原子构成共价键时，会多余一个电子，这个多余的电子由于受原子核的束缚力很小，很容易挣脱磷原子的束缚而成为自由电子，因此，掺入五价杂质后半导体中自由电子的数目将大大增加，自由电子导电成为这种杂质半导体导电的主要方式，故而称这种半导体为电子型半导体或 N 型半导体。当然，N 型半导体，由于受热或光照等原因，仍会产生极少量的电子—空穴对，即 N 型半导体中除有较大量的电子外，还有极少量的空穴，因此，在 N 型半导体中，电子称多数载

流子，而空穴则称少数载流子。

(2) P 型半导体 在本征半导体中掺入少量三价杂质(如硼等)后形成的半导体称为 P 型半导体,如图 1-5 所示。由于掺入三价元素,共价键结构中的小部分四价原子就被三价杂质原子所取代。该三价杂质原子在跟附近的四个原子构成共价键时,会在某一共价键上产生一个空穴,因此,掺入三价杂质后半导体中空穴的数目将大大增加,空穴导电成为这种杂质半导体导电的主要方式,故而称这种半导体为空穴型半导体或 P 型半导体。同样在 P 型半导体中,由于受热或光照等原因,也会产生极少量的电子—空穴对,这样,在 P 型半导体中,空穴占多数,为多数载流子,电子占少数,为少数载流子。

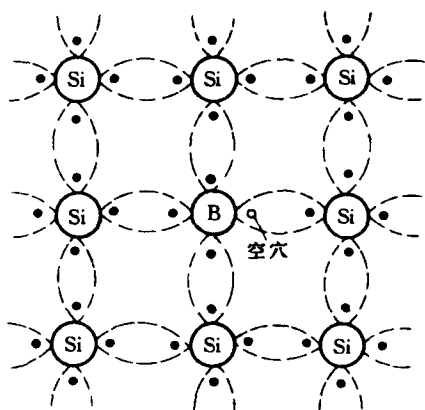


图 1-5 P 型半导体

可见,在本征半导体中掺入少量杂质后,载流子的数量较未掺杂时有了明显增加,导电能力也就增强了,因此掺杂对半导体的导电能力影响很大。应注意的是,虽然掺杂后有一种载流子占多数,但整个杂质半导体仍呈电中性。

二、PN 结及其形成过程

P 型半导体和 N 型半导体的导电能力虽然较本征半导体有了较大提高,但是单独使用没有太大的实用价值。若将 P 型半导体和 N 型半导体通过某种工艺(如烧结、渗透等)结合起来,就会在两种半导体的交接处产生载流子的扩散运动:P 区的多数载流子——空穴,向空穴浓度低的 N 区扩散;N 区的多数载流子——电子,向电子浓度低的 P 区扩散,如图 1-6(a)所示。扩散的结果,在 N 区靠近交接面的五价杂质原子

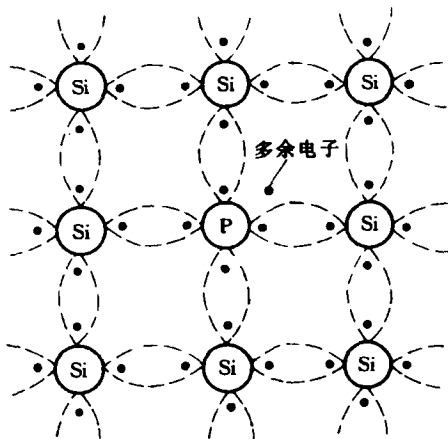


图 1-4 N 型半导体

因电子向 P 区扩散而失去电子,成为一些带正电荷的杂质正离子;在 P 区靠近交接面的三价杂质原子因空穴向 N 区扩散而得到电子,成为一些带负电荷的杂质负离子,如图 1-6(b)所示。这样,在交接面附近就形成了一个空间电荷区,这一空间电荷区就叫 PN 结。在空间电荷区内,因 P 区一侧为负电荷,而 N 区一侧为正电荷,必将产生一内建电场,该内建电场方向恰好与多数载流子的扩散方向相反,它将阻碍多数载流子的扩散。同时,该内建电场的存在也有利于 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,这种载流子在电场作用下产生的运动叫做漂移运动。在一定温度下,扩散运动和漂移运动将达到动态平衡,空间电荷区的宽度就基本稳定了下来,PN 结也就处于相对稳定状态。

三、PN 结的单向导电特性

当 PN 结没有外加电压时,PN 结处于动态平衡状态,流过 PN 结的电流等于零。

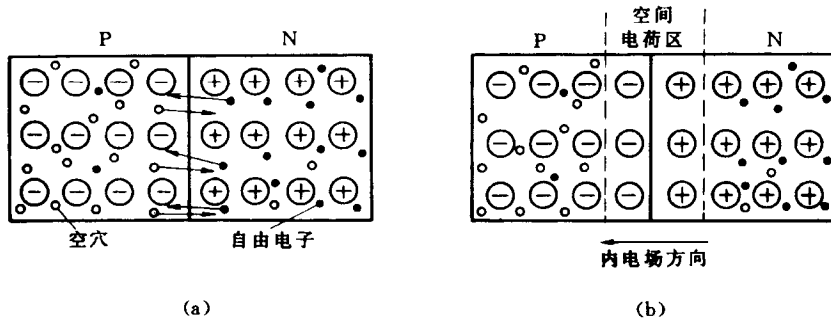


图 1-6 PN 结的形成过程

如果给 PN 结加上如图 1-7 (a) 所示的正向偏置电压 (即外电源正极接 P 极, 负极接 N 极, 简称正偏), 由图可见, 外加电场与内建电场方向相反, 外加电场将削弱内建电场, 使空间电荷区变窄, 从而使多数载流子的扩散运动加强, 少数载流子的漂移运动减弱, 扩散运动大于漂移运动而产生较大的扩散电流——正向电流, 此时 PN 结呈低阻状态。

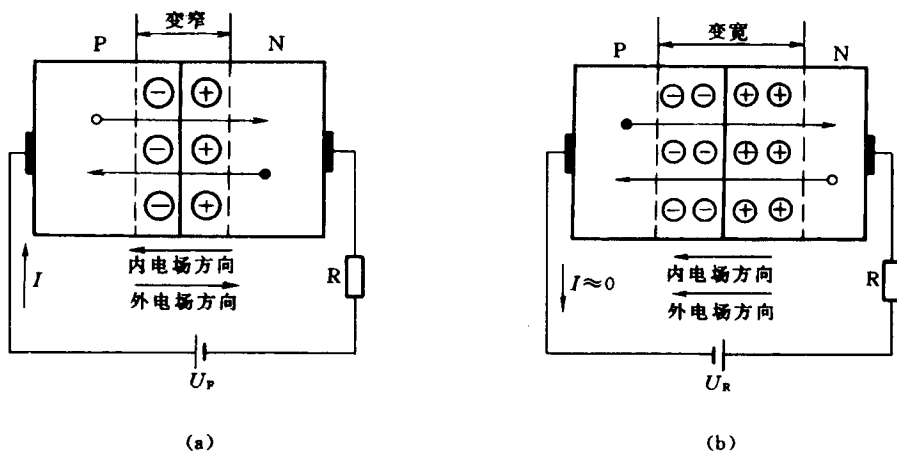


图 1-7 PN 结的单向导电性

(a) PN 结加正向电压; (b) PN 结加反向电压

如果给 PN 结加上如图 1-7 (b) 所示的反向偏置电压 (即外电源正极接 N 极, 负极接 P 极, 简称反偏), 则外加电场与内建电场方向相同, 外加电场将加强内建电场而使空间电荷区变宽, 多数载流子的扩散运动将被削弱, 少数载流子的漂移运动将得到加强, 漂移运动大于扩散运动而产生漂移电流——反向电流。在常温下, 半导体中少数载流子的数量很少, 反向电流极小, 而且该反向电流几乎不随外加电压的变化而变化, 故常称反向电流为反向饱和电流, 此时, PN 结呈高阻状态。由于半导体中少数载流子的数量的多少随温度变化而变化, 因此温度对反向电流的影响极大。

可见, 当 PN 结外加正向电压时, 正向电流较大, 也即 PN 结的结电阻较小, PN 结呈导通状态; 当 PN 结外加反向电压时, 反向电流极小, 也即 PN 结的结电阻很大, PN 结处

于截止状态。这就是 PN 结的单向导电性。

第二节 二极管和其它半导体元件

一、二极管

1. 基本结构

二极管是由一个 PN 结加上引线外壳制成的，其常见结构和图形符号如图 1-8 所示。

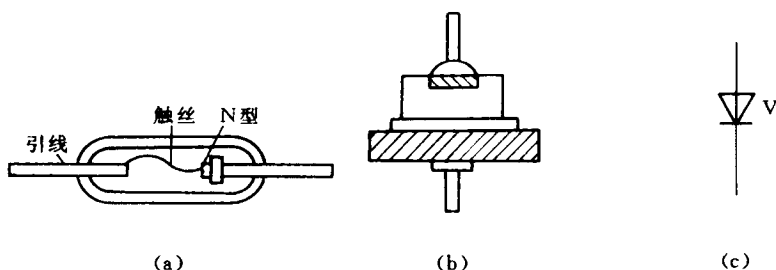


图 1-8 二极管的结构与符号

(a) 点接型；(b) 面接型；(c) 二极管符号

点接型二极管因 PN 结结面小，结面电容较小，可通过的电流也小，适合于工作在高频小电流场合；面接型二极管 PN 结的结面较大，结面电容相应地就大，可通过的电流也大，适合于工作在低频大电流的场合。

2. 伏安特性

二极管由一个 PN 结构成，二极管的特性实为 PN 结的特性。然而，用一句话——单向导电性来描述其特性，有时显得不够全面。为了全面地描述二极管的特性，现引入伏安特性曲线的概念。

二极管的伏安特性曲线指的是，流过二极管的电流和加在二极管两端的电压之间的关系曲线。经测试，二极管的伏安特性如图 1-9 所示。

由特性曲线可知，当二极管承受正向电压时，并不是刚承受正向电压就导通，而是要等到正向电压大于某一个阈值（硅管约为 0.5V，锗管约为 0.2V）以后，才开始导通（见图中 A 点、A' 点）。我们把二极管刚开始导通时的电压叫做起始电压或死区电压。二极管导通后，流过二极管的电流较大，而二极管两端的电压却很小（见图中 B 点、B' 点），二极管两端呈现一个很小的电阻，因此可将导通时的二极管看作是一个合上的开关。同时，当二极管正常导通时，硅二极管两端的电压基本上保持在 0.7V 左右，锗二极管两端的电压基本上保持在 0.3V 左右，因此，二极管正向导通时具有一定的恒压特性。当二极管承受反向电压时，流过二极管的电流极小，且几乎不随电压的增加而增加（见图中 CD 段和 C'D' 段），因此，可以将此时的二极管看作是一个断开的开关。但是，当反向电压大于一定值的时候，反向电流突然增大，二极管导通（见图中 DE 段和 D'E' 段），这种现象称为反向击穿现象，反向击穿时，二极管两端所加的反向电压称为反向击穿电压，记作 U_{BR} 。若二极管在反向击

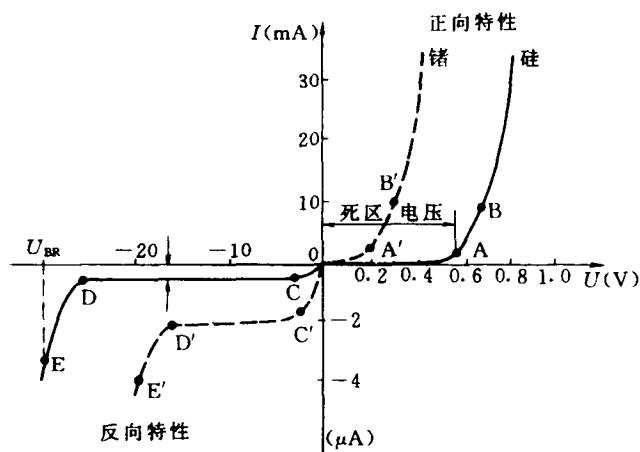


图 1-9 二极管的伏安特性

穿时没有适当的限流措施，二极管会由于过热而损坏，这种击穿就称为热击穿，使用时应严格避免热击穿。

此外，由特性曲线还可看出，硅二极管的反向电流较锗二极管小，因此，硅二极管具有比锗二极管更好的开关特性。

3. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM} 二极管长期工作时允许流过的最大正向平均电流。

(2) 最大反向工作电压 U_{RM} 二极管工作时允许承受的最大反向电压。为了保证二极管的安全，通常将二极管反向击穿电压的一半定为 U_{RM} 。

【例 1-1】 图 1-10 所示电路中，V1、V2 为硅管，求流过二极管的电流为多少？若 $U=2V$ ，流过二极管的电流又为多少？

解 由于硅管正常工作时的正向压降约为 0.7V，两个二极管的正向压降就为 1.4V，即 $U_{V1} + U_{V2} = 1.4V$ ，而电源电压 $U=20V$ 远大于 1.4V，可近似认为二极管为理想二极管而忽略其管压降，因而流过二极管的电流为

$$I_V = \frac{U - U_{V1} - U_{V2}}{R} \approx \frac{U}{R} = \frac{20}{1} = 20(mA)$$

若电源电压 $U=2V$ ，则电源电压已与二极管的正向电压十分接近，不能忽略二极管的正向压降，因而流过二极管的电流为

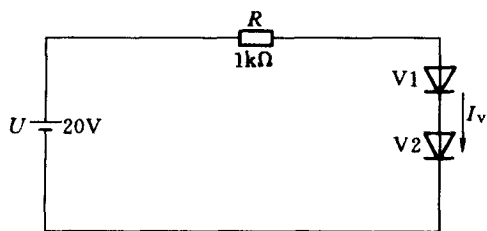


图 1-10 简单二极管电路

$$\begin{aligned} I_V &= \frac{U - U_{V1} - U_{V2}}{R} \\ &= \frac{2 - 1.4}{1} = 0.6(mA) \end{aligned}$$

上例说明，当电源电压远大于二极管的正向压降时，可将二极管看作是理想元件而忽略其正向压降；当电源电压接近于二极管的正向压降时，则必须考虑正向压降的影响。

【例 1-2】 试求图 1-11 电路中输出电压 U_o 的大小。

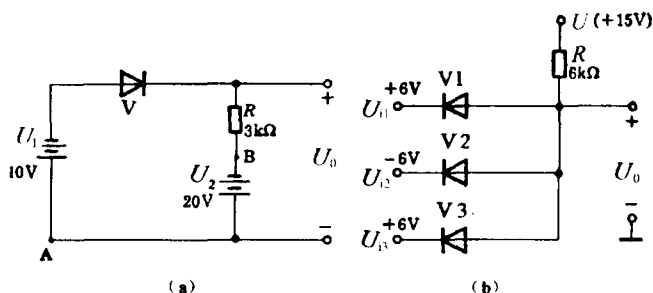


图 1-11 二极管电路

解 对于图 1-11 (a) 电路, 电源 U_2 与 U_1 之差为 10V, 远大于二极管的正向压降, 可视为二极管为理想元件。若以图中 A 点为参考点, 则二极管 V 的阳极电位为 -10V, 而图中 B 点电位为 -20V, 故二极管正偏导通, 二极管相当于一合上的开关, 因此 $U_o \approx -10V$ 。

对于图 1-11 (b) 电路, 因三个二极管的阴极电位分别为 +6V、-6V、+6V, 而它们的阳极都通过电阻 R 接至 +15V 电源, 电压差都远大于二极管正向压降, 也可将二极管看作理想元件。由于 V2 的阴极电位最低, V2 必先导通, V2 一旦导通, 输出电压 U_o 即为 -6V。至于二极管 V2、V3, 由于其阳极电位 (即 U_o) 为 -6V, 低于阴极电位而截止。

二、发光二极管

发光二极管 (简称 LED) 是一种能够发光的二极管。与普通二极管不同, 它主要由磷、砷、镓等的化合物制成。

由磷、砷、镓等的化合物制成的 PN 结加上正向电压时, P 区的空穴和 N 区的电子因扩散运动加剧而向 PN 结运动, 并在 PN 结中发生复合, PN 结便以发光的形式来释放载流子复合时产生的能量。发光的颜色主要取决于所用材料, 砷化镓再掺入少量的磷制成的 PN 结发红光, 磷化镓制成的 PN 结发绿光。目前常见的发光颜色有红、橙、黄、绿等几种。

如图 1-12 所示为发光二极管的典型伏安特性和图形符号。它的起始电压和普通二极管不同, 为 1.2V 左右, 正常工作电流为几毫安至几十毫安。当发光二极管流过正常的正向电流时就能正常发光, 而且发光强度基本上与正向电流呈线性关系。

发光二极管常被用来作为显示器件, 以指示电平的高低, 此外, 还常将七个发光二极管做成一个 8 字型的七段式 LED 显示器, 用以显示十进制数和英文字母等。

三、光电二极管

光电二极管是一种光接受器件。它的管壳上有一个玻璃窗口, 用以接受发光器件发出的光。当光线透过玻璃窗口辐射到光电二极管的 PN 结时, 半导体中的少数载流子数量将明显增加, 此时若 PN 结承受反向电压, 则反向电流将明显增加, 而且反向电流随光

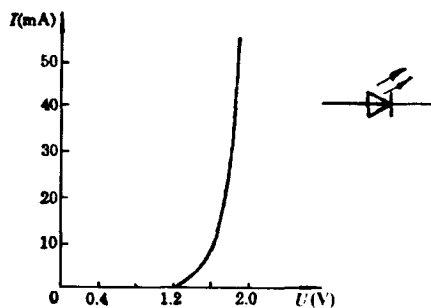


图 1-12 发光二极管的伏安特性和图形符号

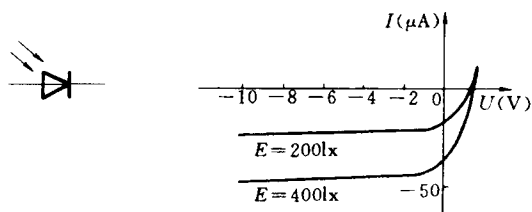


图 1-13 光电二极管的典型
伏安特性和图形符号

照强度的增加而增加。这种器件的主要特点是反向电流与光照度成正比，灵敏度的典型值为 $0.1 \mu\text{A}/\text{lx}$ ， lx 为照度 E 的单位。图 1-13 所示为光电二极管的典型伏安特性和图形符号。

光电二极管主要用于光的测量，也常用于电视机、录像机、影碟机等遥控接收电路中，以接收遥控发射器发来的指令；此外，若制作大面积的发光二极管，还可制成光电

池。

四、晶闸管

晶闸管也叫可控硅，是一种由四块半导体三个 PN 结构成的三个电极的半导体元件，其结构简图和电路符号如图 1-14 所示。晶闸管的三个电极分别称作阳极 A、阴极 K 和控制极 G。

晶闸管有压模塑封式、螺栓式和平板式三种外形结构，如图 1-15 所示。压模塑封式为小功率晶闸管，螺栓式为中等功率的晶闸管，平板式则是大功率晶闸管。

那么，具有三个 PN 结的晶闸管会有什么样的特性呢？通过图 1-16 所示的实验电路可以说明这个问题。当晶闸管的阳极和阴极间加正向电压，控制极和阴极间不加电压时（图中控制极电源闸刀置于中间位置），灯泡不亮，晶闸管截止；当阳极和阴极间加正向电压，控制极和阴极间加反向电压时，灯泡仍不亮，晶闸管仍处于截止状态；当阳极和阴极间加反向电压，控制极和阴极间不论加什么电压，灯泡均不亮，晶闸管均不导通；当阳极和阴极间加正向电

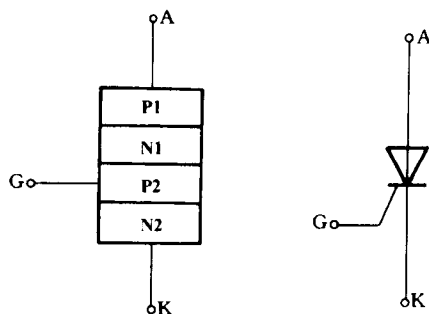


图 1-14 晶闸管的结构和电路符号

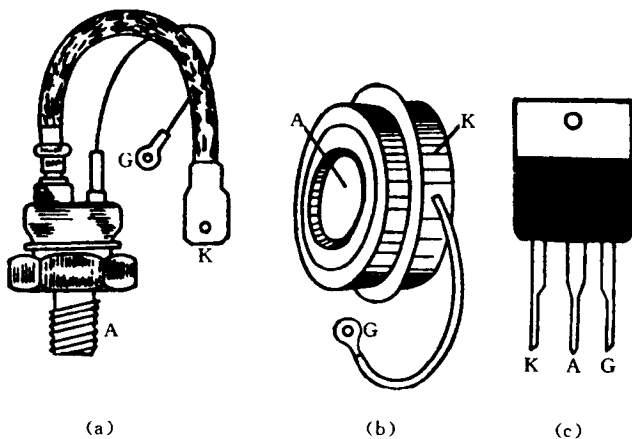


图 1-15 晶闸管的外形

压,控制极和阴极间也加正向电压时,灯泡才亮,晶闸管导通,此时若去掉控制极电源,灯泡仍然发光。可见,晶闸管一旦导通,控制极就失去了控制作用。要使晶闸管由导通转向截止,必须调大图中电位器 R_P ,使阳极电流 I_A 减小到一定数值(维持电流 I_H)以下。当然,去掉阳极电源或给阳极加反向电压,也可使阳极电流减小到维持电流以下而使晶闸管由导通转向截止。

通过上面的实验,我们可以得出晶闸管具有以下几个特性:

- (1) 晶闸管具有单向可控导电性,要使晶闸管由截止转向导通,除了要给它的阳极和阴极间加正向电压以外,还必须在控制极和阴极间加上适当的正向电压,即晶闸管的导电受控制极控制。
- (2) 晶闸管一旦导通,控制极就失去了控制作用,因此,要使晶闸管导通,控制极和阴极间不必始终加正向电压,只要加正向脉冲电压就可以了,我们称该正向脉冲电压为触发脉冲。
- (3) 要使晶闸管由导通转向截止,必须使晶闸管的阳极电流减小到维持电流以下。

由于晶闸管的上述特性,它在实际当中常被用作一个可控的开关。
【例 1-3】 图 1-17 电路的控制极开关 S 在 t_1 时刻合上, t_2 时刻断开,试画出负载 R_L 两端的电压波形。

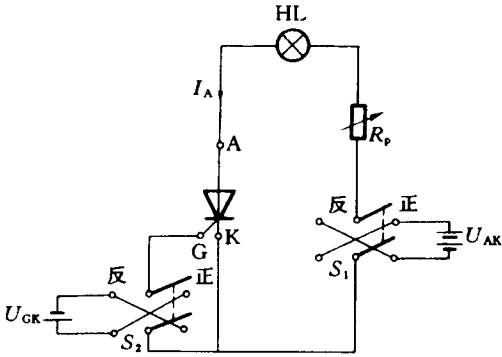


图 1-16 晶闸管特性实验电路

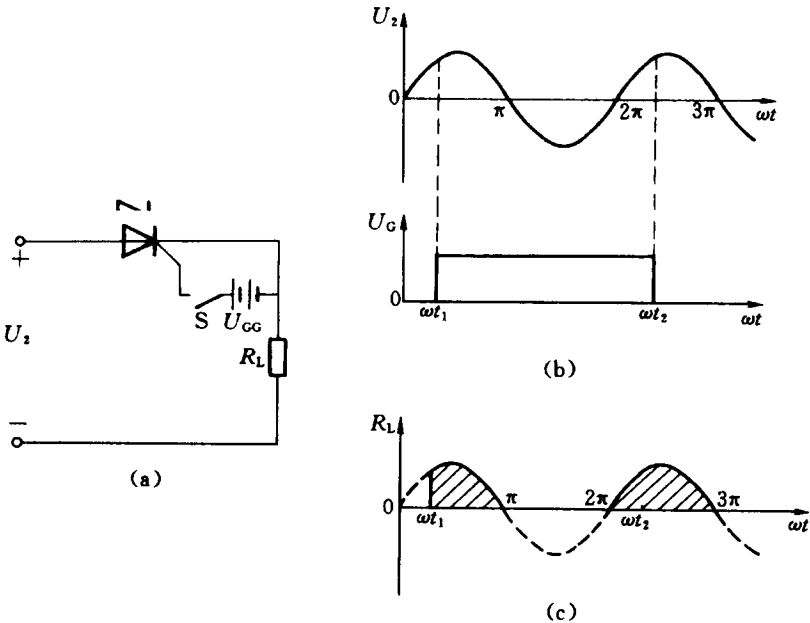


图 1-17 晶闸管应用电路

解 由晶闸管的特性可知,晶闸管导通必须具备两个条件,即阳极和阴极间加正电压、控制极和阴极间加正电压。在第一个正半周的 $\omega t_1 \sim \pi$ 期间,这两个条件都具备,因此晶闸管导通,负载上的电压等于输入电压。在 $\pi \sim 2\pi$ 期间,晶闸管因反偏而截止,负载电压为 0。在第二个正半周,一开始就存在有正向控制极电压,因此,从 2π 时刻开始晶闸管导通。 ωt_2 时刻后,虽然 S 断开,但由于晶闸管一旦导通就失去控制作用,因此 $2\pi \sim 3\pi$ 期间晶闸管全导通,负载电压等于输入电压。 3π 时刻以后,晶闸管反向偏置且无控制极电压而截止。由此可画出负载上的波形如图 1-17 (c) 所示。

第三节 半 导 体 三 极 管

一、三极管的基本结构及制造特点

三极管是由三块半导体两个 PN 结构成的半导体元件。根据构成的不同,三极管可分为 NPN 型和 PNP 型两大类,如图 1-18 所示。

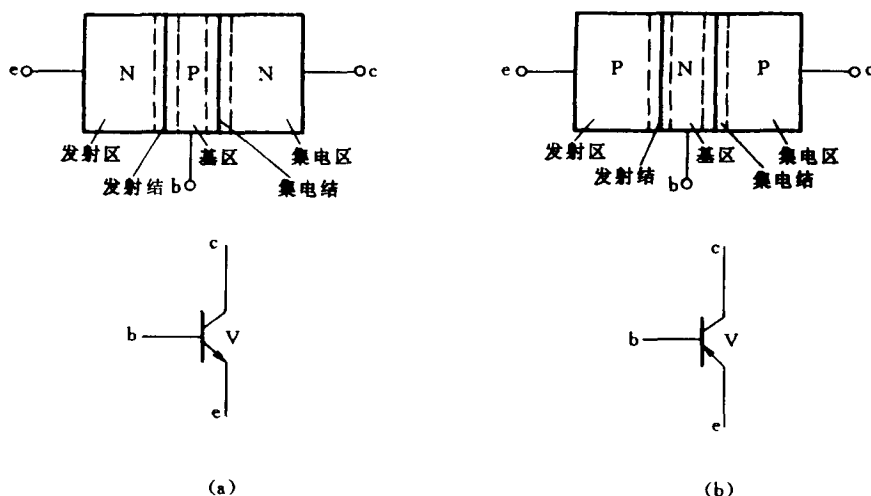


图 1-18 三极管的基本结构及电路符号

(a) NPN 型; (b) PNP 型

三极管内有三个区,分别称为发射区、基区和集电区。和发射区相连的电极称为发射极 e,与基区相连的电极称为基极 b,与集电区相连的电极称为集电极 c。基区和发射区之间的 PN 结称为发射结,基区和集电区之间的 PN 结称为集电结。由于三极管在制造时,发射区掺入杂质的浓度很高,发射区内载流子的浓度也很高,基区掺杂浓度很低,且做得很薄,集电区体积很大,因此它将具有与两个背靠背相连的二极管不同的特性——电流放大作用。

二、三极管的电流放大作用

三极管的电流放大作用指的是基极电流 I_b 的较小变化会引起集电极电流 I_c 很大的变化,也即基极电流 I_b 对集电极电流 I_c 的小量控制大量的作用。