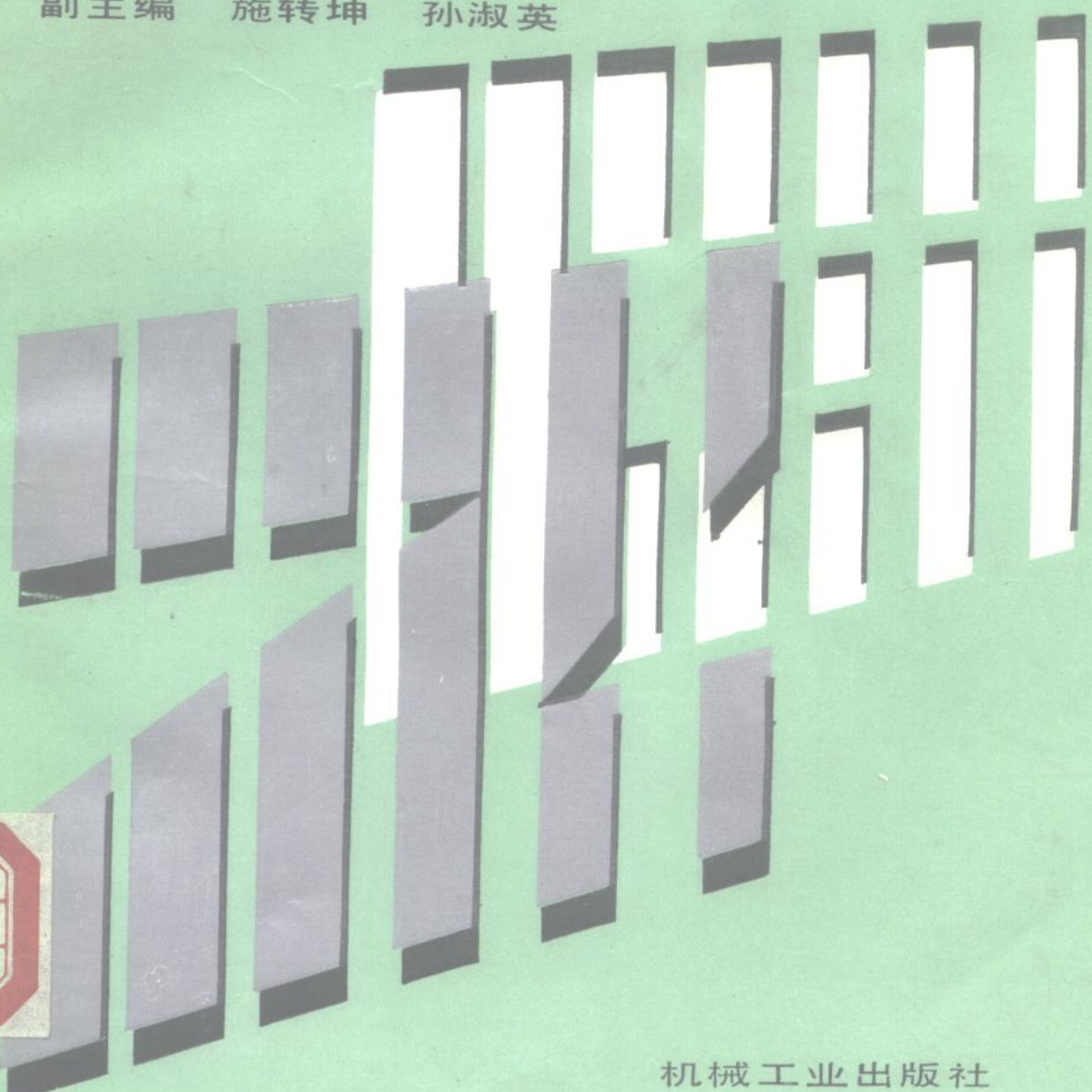


职工高等工业专科学校试用教材

电子技术

主 编 徐惠康

副主编 施转坤 孙淑英



机械工业出版社

73.61
519

职工高等工业专科学校试用教材

电子技术

主 编 徐惠康

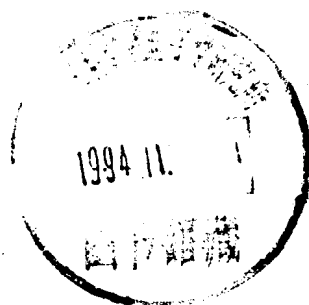
副主编 施转坤 孙淑英

参 编 张烨 潘金水 姜李

王友爱 范志忠 徐北宁

冠笃厚 杨嘉树

主 审 罗素珍



机械工业出版社

9410239

(京)新登字054号

本书是根据中国机械工程学会职工高教专业学会 鉴于目前 职工高校“机电一体化”专业的教学需要而统一组织编写的配套教材之一。

本书包括模拟电子技术和数字电子技术上下两篇内容,全书共分十六章。内容为半导体二极管和三极管、放大电路基础、场效应管放大器、负反馈放大器、功率放大器、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源、半导体管的开关特性、门电路、逻辑代数基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形、数/模和模/数转换等。参考教学学时分别为98学时(应用型多学时类)和84学时(技艺型少学时类)。

本书系职工高等工业专科学校“机电一体化”专业试用教材,也适用于其他各类高等院校师生和工矿企业工程技术人员参考。

电子技术

徐惠康 主编

责任编辑:王世刚 版式设计:李松山
封面设计:姚毅 责任校对:陈立耘

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 20.25·字数505千字
1994年10月北京第1版·1994年10月北京第1次印刷
印数 00 001—5750定价:16.00元

ISBN 7-111-04257-3/TN·88(G)

DS78/33
02

序 言

随着机电一体化技术与产品在世界范围内的兴起与发展,教育必须紧紧跟上形势及经济发展的需要。1990年4月我会受原机械电子工业部教育司委托,组织了全国部分成人高等学校的专家、教授在天津编写了《机电一体化》等专业指导性教学文件,对本专业的研究与发展起了一定的推动和示范作用。编写组的这项工作获得1991年全国学会工作成果奖。

1992年我会机械制造专业委员会桂林年会发起编写“机电一体化”成套教材,以解决本专业当前教学急需。经过一年多的工作,重新编写了“机电一体化”专业教学计划(分为应用型和技艺型两类)及各科教学大纲,并在部分职工高校试用。在此同时,着手组织编写教材及出版工作。鉴于这套教材涉及几个专业委员会的教学研究领域,为保证编写质量,加快出版进程以及工作上的方便,自1993年5月济南会议起,由学会秘书处统一组织工作,并委托我会学术委员会具体负责本次编辑出版的协调和实施工作。

这套教材以我会学术委员会、机械制造专业委员会、工程材料专业委员会、技术基础课委员会、基础学科委员会为主,集中我会全国学术骨干力量,在三年内分两批出齐。第一批共计出版:①工程材料与金属工艺学;②金属切削机床与数控机床;③伺服系统与机床电气控制;④机械制造工艺与机床夹具;⑤计算机绘图;⑥微机与可编程控制器;⑦数控原理与编程;⑧电子技术;⑨8098单片机原理与应用;⑩高等数学;⑪工程数学;⑫工程力学等十二种教材。其余教材将于第二批进行出版,以供全国职工高校试用。

中国机械工程学会
职工高等教育专业学会
1994年元月

0850122

前 言

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育专业学会1993年8月秦皇岛会议的决定,为适应当前全国职工高等工业专科学校“机电一体化”专业的教学需要而统一组织编写的试用教材,也可供其他成人高等专科学校非电子类专业师生自学者参考。

本书包括了模拟电子技术和数字电子技术上下两篇共十六章内容。在模拟部分以分立元件电路作为学习集成电路的基础,两个部分既各有侧重又注意衔接;在数字部分则以介绍电路的逻辑功能为主,侧重于中小规模数字集成电路的实际应用;对于电子元器件,强调讨论器件的外部特性和应用知识,而对其内部结构和机理未加深究。

由于电子技术的发展十分迅速,在教材中注意适当增加了集成电路及其应用等新技术内容。同时,根据教学对象的特点和实际情况又适当保留一些传统内容作为铺垫和过渡,考虑到专业的特点、培养的目标和学时的限制,本书尽量采取阐明问题通俗易懂、由浅入深,注重突出基本概念、基本定理和基本知识;强调“必需、够用”的原则,避免繁琐的公式推导和数学论证,紧扣专业特点,力求使理论联系实际,学以致用,讲求实效。

电子技术基础对于“机电一体化”专业而言,只是一门技术基础课,掌握和应用好这门技术还有待于实验课、专业课以至实际工作中的培养、实践和不断学习与提高。

本书参考教学时数为98学时(应用型多学时类)和84学时(技艺型少学时类)。另还有12学时实验课,以加强本课程的实践环节。为了同时能适应两种培养方向和需求,教材按多学时类型编写,少学时类型

除带 * 号的内容可以省略外, 还可以根据实际情况省略其他内容。

本书由贵州机械职工大学徐惠康主编, 负责全书的组织、统稿和定稿等工作。参加编写工作的有江西机械职工大学张烨(第一、九章)、上海仪表电讯职工大学潘金水(第二章)、新疆职工大学孙淑英(第三、十二章)、山东淄博职工大学姜李(第四、八章)、王友爱(第十四章)、厦门工人业余大学施转坤(第五、十五章)、上海第二工业大学范志忠(第六章)、贵州机械职工大学徐北宁、徐惠康(第七、十章)、河南洛阳轴承厂职工大学寇笃厚(第十一章)、江苏常州机械职工大学杨嘉树(第十三、十六章)。本书由贵州航空工业职工大学罗素珍副教授任主审。

在编写及定稿过程中还得到了上海机床公司职工大学薛彦成副教授的具体指导和贵州机械职工大学朱盛全老师等的帮助。在此, 对本书编写工作中付出辛勤劳动的同志们仅表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 水平有限, 对职高教材的编写还有待于探索, 对书中的谬误与不当之处企盼行家和读者批评指正。

编者

一九九四年四月

目 录

上篇 模拟电子技术

第一章 半导体二极管和三极管	1	作状态	70
第一节 半导体的基本知识	1	第二节 变压器耦合推挽功率放	
第二节 半导体二极管	3	大器	71
第三节 半导体三极管	8	第三节 互补对称功率放大器	72
本章小结	12	本章小结	81
习题	12	习题	81
第二章 放大电路基础	14	第六章 集成运算放大器	84
第一节 晶体管放大器基本电路及		第一节 集成运算放大器概述	84
工作原理	14	第二节 直接耦合放大电路和差动	
第二节 放大电路的微变等效电路		放大电路	86
分析法	20	第三节 集成运放的内部结构和电	
第三节 静态工作点的稳定	27	路工作原理	96
第四节 共集电极电路和共基极		第四节 集成运放的主要参数和两	
电路	29	种基本接法	97
第五节 阻容耦合多级放大电路	33	第五节 基本性电路	103
本章小结	38	第六节 基本非线性电路	107
习题	38	第七节 运算放大器的实际应用	109
第三章 场效应管放大器	43	本章小结	113
第一节 绝缘栅场效应管	43	习题	113
第二节 场效应管放大器	46	第七章 正弦波振荡电路	116
本章小结	50	第一节 自激振荡	116
习题	51	第二节 LC振荡器	117
第四章 负反馈放大器	53	第三节 RC振荡器	120
第一节 反馈的基本概念与分类	53	本章小结	123
第二节 负反馈放大器的基本关		习题	123
系式	56	第八章 直流稳压电源	125
第三节 负反馈对放大器性能的		第一节 直流稳压电源的组成	125
改善	59	第二节 单相整流电路	125
第四节 深度负反馈电路的近似		第三节 滤波电路	128
计算	64	第四节 稳压管稳压电路	130
本章小结	66	第五节 串联型稳压电路	132
习题	67	第六节 集成稳压电源	134
第五章 功率放大器	70	本章小结	135
第一节 功率放大电路的特点及工		习题	135

下篇 数字电子技术

第九章 半导体管的开关特性	137	习题	238
第一节 二极管的开关特性	137	第十四章 时序逻辑电路	243
第二节 三极管的开关特性	139	第一节 时序逻辑电路的特点及	
第三节 三极管反相器	141	分析方法	243
本章小结	143	第二节 寄存器	245
习题	144	第三节 计数器	247
第十章 门电路	146	本章小结	257
第一节 基本的逻辑关系	146	习题	257
第二节 二极管门电路	147	第十五章 脉冲波形的产生和整形	259
第三节 三极管门电路	149	第一节 相关方面的基本概念	259
第四节 TTL集成门电路	154	第二节 单稳态触发器	261
第五节 MOS逻辑门电路	160	第三节 多谐振荡器	263
本章小结	163	第四节 施密特触发器	272
习题	164	第五节 555定时器及其应用	278
第十一章 逻辑代数基础	167	本章小结	285
第一节 数制和数的代码	167	习题	286
第二节 逻辑代数的基础知识	170	第十六章 数/模和模/数转换	290
第三节 逻辑函数的化简方法	173	第一节 转换器概述	290
第四节 逻辑函数的表示方法及		第二节 数/模转换器	291
转换	181	第三节 模/数转换器	294
本章小结	185	本章小结	305
习题	186	习题	305
第十二章 组合逻辑电路	187	附录	306
第一节 组合逻辑电路的特点及分		附录A 半导体器件型号命名方法	306
析设计方法	187	附录B 半导体集成电路型号命	
第二节 编码器	192	名法	306
第三节 译码器	196	附录C 常用CMOS门电路的型号	
第四节 数据选择器	200	及其相应国外型号对照表	308
第五节 加法器和数值比较器	202	附录D 常用TTL门电路的型号及	
第六节 中规模集成组合逻辑电路		同相应国外型号对照表	309
的应用	205	附录E 四位双向移位寄存器	
第七节 组合逻辑电路中的竞争		T1194、T3194、T4194	
与冒险现象	209	的主要性能参数	310
本章小结	211	附录F 国产TTL计数器系列品种	
习题	212	一览表	311
第十三章 触发器	215	附录G 国产CMOS计数器品种、	
第一节 触发器概述	215	型号一览表	312
第二节 基本触发器	216	附录H CMOS计数器性能一览表	313
第三节 边沿触发器	224	附录I 集成触发器的主要性能	
第四节 触发器的逻辑功能及其分类	230	参数	313
第五节 集成触发器及其主要参数	234	附录J 555定时器的性能参数	315
本章小结	237	参考文献	317

上篇 模拟电子技术

第一章 半导体二极管和三极管

本章在简单介绍半导体基本知识的基础上, 分别讨论半导体二极管和三极管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。重点讲述典型半导体器件及其外特性, 并介绍它们的选用方法和应用。

第一节 半导体的基本知识

一、半导体的原子结构和共价键

在自然界中, 由于物质的导电性能不同, 可以分为导体、绝缘体和半导体。导体是很容易传导电流的物质, 如银、铜、铝和锡等金属材料; 绝缘体是几乎不传导电流的物质, 如陶瓷、塑料、橡皮和石英等; 而半导体是指其导电性能介于导体和绝缘体之间的物质, 如锗、硅、硒、一些氧化物和硫化物等。最常见的半导体材料是锗和硅, 它们也是制作半导体器件的主要材料。

1. 锗和硅的原子结构

锗和硅原子结构模型示意图如图1-1所示。它们的特点是最外层轨道上的电子数都是四个, 通常, 原子的外层电子叫价电子, 有几个价电子就叫几价元素, 所以锗和硅都是四价元素。半导体的导电性和价电子有关, 因此, 价电子是我们研究的对象。画原子结构模型常用简化模型表示。如图1-1c所示。

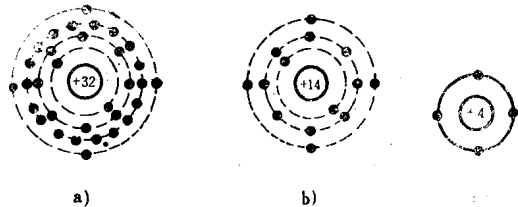


图1-1 锗和硅原子结构模型
a) 锗(Ge)原子 b) 硅(Si)原子 c) 简化模型

2. 锗和硅晶体的共价键结构

在锗和硅等半导体材料制成单晶体时, 其原子排列由杂乱无章的状态变成按一定规律排

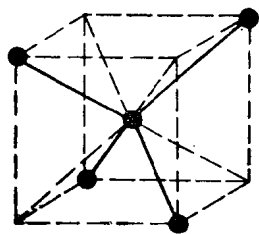


图1-2 锗和硅的晶体结构

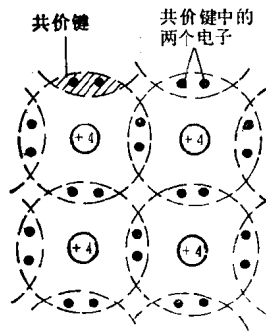


图1-3 锗和硅的晶体共价键结构

列的整齐状态,形成晶体点阵结构。如图1-2所示。其中,相邻原子之间距离相等,并靠得很近。每个原子的价电子,不仅受到自身原子核的束缚,还受到周围相邻的四个原子核的吸引,为此,每两个相邻原子之间共用一对电子,这种组合方式叫做共价键结构,如图1-3所示。由此可见,在锗和硅晶体中原子之间就是靠共价键紧密结合在一起的。

二、本征半导体的导电性能

纯净的半导体晶体叫做本征半导体。在温度(0K)和无外界激发时,共价键中的价电子被束缚而不能参与导电。所以,在本征半导体中,没有可以自由运动的带电粒子——载流子。

在一定温度下,晶体中少数价电子由于热运动会挣脱共价键束缚而成为自由电子——电子载流子,同时,失去价电子的共价键中就留下一个空位,这个空位称为空穴。有了空穴,附近价电子就很容易填补到这个空位,从而形成价电子的运动。这种运动就好象带正电荷的空穴在移动,这种运动叫做空穴运动。所以,在本征半导体晶体中,空穴也参与导电,它也是一种载流子,如图1-4所示。

当在本征半导体上外加电压时,通过半导体的电流可看做两部分组成:一部分是自由电子定向运动形成的电子电流;另一部分是价电子递补空穴所形成的空穴电流。

在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对产生的,我们称之为电子空穴对,所以自由电子和空穴的数目总是相等的。同时,自由电子在运动中又会和空穴重新结合而成对消失,这一过程叫做复合。电子空穴对的产生与复合,在一定温度下呈现动态平衡,所以,电子空穴对的浓度维持一定。当温度升高时,电子和空穴的浓度相对增加,因此,本征半导体的导电能力随温度增加而显著提高。

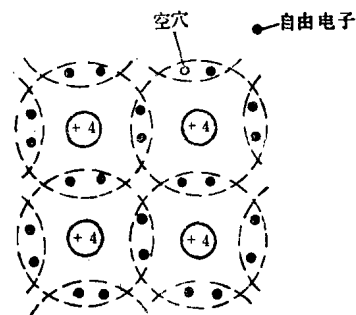


图1-4 热运动产生自由电子和空穴

三、杂质半导体的导电性能

在本征半导体中,虽然多了一种空穴载流子,但是,在常温下载流子的浓度都很低,导电能力很差。然而,在本征半导体中掺入微量有用杂质,变成杂质半导体后,就会使其导电性能发生显著变化。

1. N型半导体

在硅晶体中掺入微量五价元素,如磷、锑等。晶体点阵中某些硅原子将被磷原子代替。磷原子有五个价电子,其中四个与周围相邻硅原子组成共价键,而多出的一个电子只受到磷原子核的吸引,而不受共价键的束缚,因此很容易成为自由电子。磷原子失去电子后,成为正离子。而产生自由电子的同时并不产生空穴。所以,在这种半导体中,自由电子的数目远大于硅晶体本身由于热运动而产生的空穴数。所以自由电子是多数载流子,简称多子,空穴载流子的数目很少,是少数载流子,简称少子。这种半导体中主要靠电子导电,所以叫做电子型半导体或N型半导体。如图1-5所示。

2. P型半导体

在硅晶体中掺入微量的三价元素,如硼、镓等,因为硼原子只有三个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,因缺少一个价电子而形成空位,相邻共价键上的价电子受热运动很容易填补这个空位,使硼原子成为负离子,而原价电子外形成一个空穴。所以,在这种半

导体中空穴数目远大于晶体中热运动而产生的自由电子数。故空穴为多数载流子，自由电子是少数载流子。在这种半导体中，主要靠空穴导电，故叫做空穴型半导体或P型半导体。如图1-6所示。

综上所述，无论是N型半导体还是P型半导体，其中多子都是掺入杂质而造成的，尽管杂质含量很微，但它们对半导体的导电能力却有很大的影响。而它们的少数载流子，是由于热运动产生的，虽然浓度很低，但对温度敏感，对半导体的性能亦有很大影响。

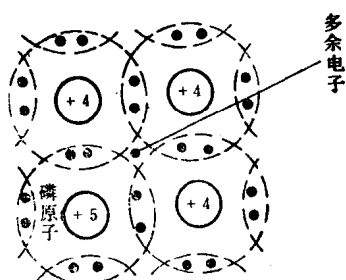


图1-5 N型半导体

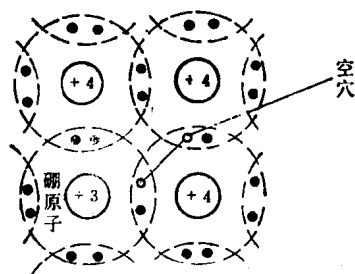


图1-6 P型半导体

第二节 半导体二极管

一、PN结及其单向导电性

1. PN结的形成

当P型半导体和N型半导体联结为一体时，在交界处就出现了电子和空穴的浓度差别，P区空穴浓度很高，而自由电子很少；N区则相反，自由电子浓度很高，而空穴很少。因此自由电子和空穴将从浓度高的地方向浓度低的地方进行扩散运动，也就是说P区的空穴向N区扩散；N区的自由电子向P区扩散，如图1-7所示。

随着扩散运动的进行，P区空穴减少，出现带负电的粒子区(用 $\ominus$ 表示)；N区电子减少，出现带正电的粒子区(用 $\oplus$ 表示)。这些带电粒子由于物质结构的关系不能任意移动，因此不参与导电，通常叫做空间电荷，它们集中在交界面附近，形成一层很薄的空间电荷区。如图1-8所示。在这个区域内，多子已扩散到对方并复合掉了，好象消耗尽了一样，因此，空间电荷区又叫做耗尽层。

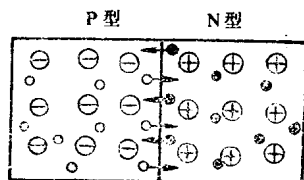


图1-7 电子和空穴的扩散

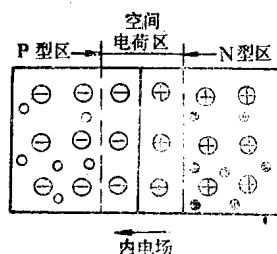


图1-8 PN结的形成

当空间电荷区出现以后，交界面附近就形成了一个内电场，其方向正好和扩散运动的方向相反，由N区指向P区，如图1-8所示。它将阻止多子的扩散，所以又把空间电荷区叫做

阻挡层。这个空间电荷区也就是PN结。

在P区和N区除有多子之外，还有少数子存在。由内电场的方向和载流子的带电极性我们可看出，在内电场作用下，P区的少数电子向N区漂移；N区的少数空穴向P区漂移。从N区漂移到P区的空穴中和了PN结的部分负离子；而从P区漂移到N区的电子则中和了部分正离子，这就使空间电荷减少，即空间电荷区变窄。我们把载流子在内电场作用下的定向运动叫做漂移运动，漂移运动的方向正好和扩散运动的方向相反，漂移运动的结果是空间电荷区变窄，这有利于多子的扩散。

由此可见，在PN结中进行着多子扩散运动和少数子漂移运动。两者是互相联系又互相矛盾的，扩散运动使空间电荷区加宽，内电场增强；漂移运动使空间电荷区变窄，内电场减弱。当漂移运动和扩散运动相等时，便达到了动态平衡，空间电荷区也就达到了稳定状态。

2. PN结的单向导电性

PN结的基本特性是具有单向导电性。

(1) 外加正向电压时，PN结导通 当PN结的P区接电源正极，N区接电源负极时，外加电场与PN结内电场方向相反，如图1-9a所示。这个方向的外加电压称为正向电压，也叫正向偏置电压。

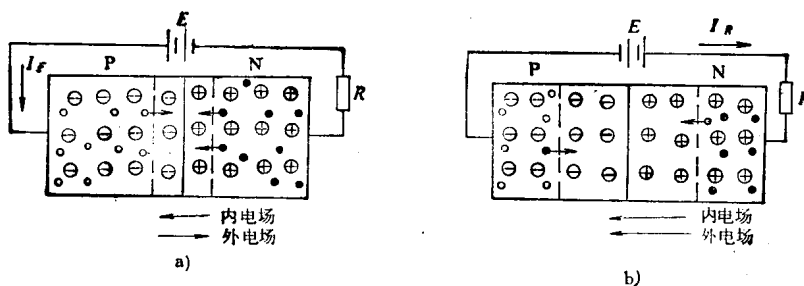


图1-9 PN结的单向导电性

a) 正向偏置 b) 反向偏置

当PN结处于正向偏置时，由于P区和N区内的载流子远比耗尽层内多，所以，半导体本身的体电阻和PN结上的电阻相比是很小的，故加在PN结上的外加电压几乎全部加在PN结上。由于外电场削弱了内电场，使空间电荷量和耗尽层的宽度都减少了，N区中的电子和P区中的空穴都能顺利越过PN结，形成较大的扩散电流。这时，扩散运动远大于少数子形成的漂移运动。漂移运动所形成的漂移电流其方向和扩散电流相反，数值也很小，可忽略不计。所以，PN结内的电流由扩散电流所决定，在外电路形成一个较大的正向电流 I_F ，如图1-9a所示。所以，外加正向电压使PN结处于导通状态，导通时电阻很小。

(2) 外加反向电压时，PN结截止 当PN结的N区接电源正极，P区接电源负极时，外加电场与PN结内电场方向相同，如图1-9b所示。这个方向的外加电压称为反向电压，也叫反向偏置电压。由于外加电压形成的外电场增强了内电场，使空间电荷区变宽，因此，使扩散运动难以进行，扩散电流趋近于零。但是，内电场的增强有利于漂移运动，此时，PN结内的电流就由漂移电流所决定，在外电路形成一个反向电流 I_R ，如图1-9b所示， I_R 是少数子漂移运动产生的，在一定温度下少数子浓度很低且一定，所以 I_R 非常小。当反向电压在一定范围

内改变时, 其电流值几乎不变, 故又称为反向饱和电流 I_s , 但是, I_s 受温度的影响较大。

由此可见, 当PN结正向偏置时, 有较大正向电流流过, 导通电阻很小; 此时PN结处于导通状态; 当PN结反向偏置时, 反向电流很小, 几乎为零, 相当于一个非常大的电阻, 此时, PN结处于截止状态。所以说PN结具有单向导电性。而单向导电性只有在外加电压时才显示出来。

3. PN结的结电容

PN结形成后的空间电荷区, 可以等效为一个可变电容, 当外加正向电压时, 如前所述, 空间电荷区电荷量减少, PN结变窄。相当于结电容“放电”; 反之, 外加反向电压时, PN结变宽。相当于结电容“充电”。但是, PN结的结电容与其连接方式和外加电压的大小和频率有关, 不是一个常数。

二、二极管的结构

半导体二极管又称晶体二极管, 简称二极管。它是由一个PN结, 加上接触电极, 引线 and 管壳构成。根据内部结构不同, 有点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管是由一根金属丝和一块半导体的表面接触, 并熔在一起构成PN结, 加引线和管壳密封而成, 如图1-10a所示。它的PN结面积很小, 极间电容也很小, 不能承受高的反向电压和大的正向电流。适用在高频、小电流下工作。

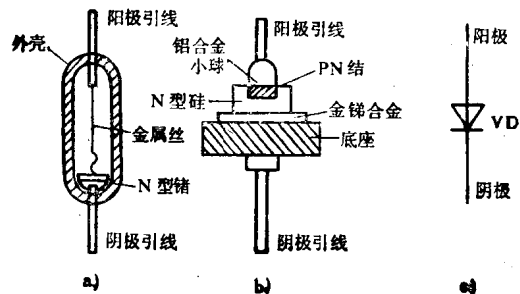


图1-10 二极管的结构和符号

a) 点接触型 b) 面接触型 c) 符号

面接触型二极管是用合金法或扩散法做成PN结, 加引线和管壳密封而成, 如图1-10b所示。它的PN结面积大, 可承受较大的电流, 但极间电容也大。这种类型的管子适用于低频整流, 而不宜于高频电路。二极管的符号如图1-10c所示, 箭头方向表示正电流方向。

三、二极管的伏安特性

二极管的伏安特性, 是指加到二极管两端的电压与流过二极管的电流之间的关系曲线。如图1-11所示。下面对二极管伏安特性分三部分加以说明。

1. 正向特性

当二极管加上正向电压时, 便有正向电流通过。但是, 当外加电压很低时, 外部电场还不足以克服内部电场对载流子扩散运动所造成的阻力, 因此, 这时的正向电流仍然很小, 二极管呈现的电阻较大。当外加电压超过一定的数值 U_r 以后, 内部电场将被大大削弱, 二极管的电阻变得很小, 正向电流开始显著增加。如图1-11第①段所示。我们把 U_r 叫做二极管的死区电压或门坎电压。硅管的 U_r 约为0.5V, 锗管的 U_r 约为0.1V。

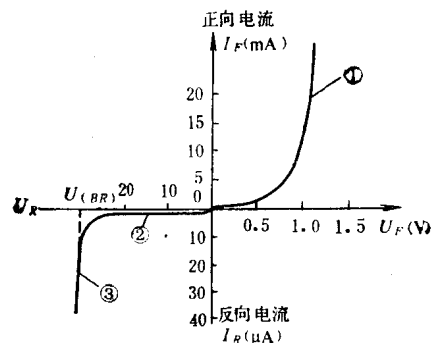


图1-11 二极管的伏安特性

2. 反向特性

二极管加上反向电压时, 由于少子的漂移运动, 形成很小的反向电流。在同样的温度下, 硅管的反向电流比锗管小。硅管是纳安级(nA)。锗管是微安级(μ A)。

二极管的反向电流有两个特点：一是随温度增加而增长很快，另一个是只要外加电压在一定范围内，反向电流基本上不随反向电压变化而达到饱和，这个电流就是反向饱和电流 I_s 。如图1-11的第②段所示。

3. 反向击穿特性

当反向电压高到一定数值时，有可能因外加的电场过强，破坏共价键而把价电子拉出，使少数数目剧增；强电场也可能引起电子与原子碰撞，产生新的电子空穴对，而引起载流子数目急剧上升。这都将使反向电流突然剧增，此时，二极管失去单向导电性，这种现象称为电击穿，如图1-11的第③段所示。这个电压叫做反向击穿电压 U_{BR} 。如果二极管的反向电压超过这个数值，就会造成电击穿，如没有适当的限流措施，将会因电流过大使管子过热而造成永久性损坏，这种现象叫做热击穿。

四、二极管的主要参数

1. 最大整流电流 I_{RM}

表示二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流。使用二极管时，通过二极管的平均电流应小于 I_{RM} ，否则，管子容易过热而损坏。

2. 反向击穿电压 U_{BR}

指二极管反向击穿时，对应的外加电压称为反向击穿电压。有时手册上给出最高反向工作电压 U_R ，它通常是 U_{BR} 的一半。为了防止管子击穿，管子的反向工作电压应小于 U_R 。

3. 反向电流 I_R

在室温下，二极管加上规定的反向电压，产生的反向电流就是 I_R 。 I_R 越小，管子的单向导电性越好。温度对 I_R 的影响很大。

二极管的参数是正确选用二极管的依据，一般半导体器件手册中都给出了不同型号管子的参数。下面介绍选用二极管应注意的几个问题。

(1) 选好管子的种类 要求反向电流小，温度稳定性好、反向击穿电压高，耐温度时选用硅管；要求导通电压低时，选用锗管。

(2) 选择合适的管子型号 要求导通电流大时，选平面型二极管；用于整流电路则选用整流二极管；要求工作频率高时，选用点接触型二极管；用于数字电路时，则选用开关二极管等。

(3) 管子的参数应满足电路的要求 为保证电路正常工作，电路参数不应超过二极管使用手册所规定的极限应用数据，以免损坏管子。

(4) 二极管在电路中应避免靠近发热元件。在实际工作中，由于半导体具有单向导电的特点，因此，在电子电路中常用它来作整流、检波、开关等器件使用。

五、常用的特殊二极管

前面介绍了普通二极管，另外，还有一些特殊二极管，如稳压管、发光二极管、光电二极管等。分别介绍如下。

(一) 稳压管

1. 稳压管的作用

稳压管是用特殊工艺制造的面结型硅半导体二极管，其符号和伏安特性如图1-12所示。图中， U_z 表示反向击穿电压，也是稳压管的稳定电压。稳压管的稳压作用在于：当反向电流有很大变化 ΔI_z 时，只引起微小的电压变化 ΔU_z 。如图1-12所示。特性曲线愈陡，稳压性能愈

好。由此可见，稳压管是工作在反向击穿区。

2. 主要参数及应用

(1) 稳定电压 U_z 它表示稳压管在规定电流值下正常工作时，其两端的电压值。

(2) 稳定电流 I_z 它等于稳压管在正常工时的参考电流值。

(3) 温度系数 k 它表示温度升高 1°C 时稳压值的相对变化量，即表示管子温度稳定性的参数。

(4) 动态电阻 r_z 它是稳压管两端电压变化量与电流变化量的比值，其数值随工作电流的不同而改变。 r_z 愈小，表明稳压作用愈好。

(5) 最大允许耗散功率 P_{zM} 它等于稳定电压 U_z 和允许的最大电流 I_{zM} 的乘积。

图1-13是常用的稳压电路。图中 R 是限流电阻，它一方面起限流作用，保证在负载开路时流过二极管的电流不超过 I_{zM} ；另一方面，在输入电压 u_i 或负载变化时，它起到调整作用，保证输出电压 u_o 稳定。为了保证电路能正常工作， u_i 必须使稳压管工作在反向击穿区，并且适当选择 R 的阻值，使稳压管中的电流在 I_z 和最大允许电流 I_{zM} 之间。

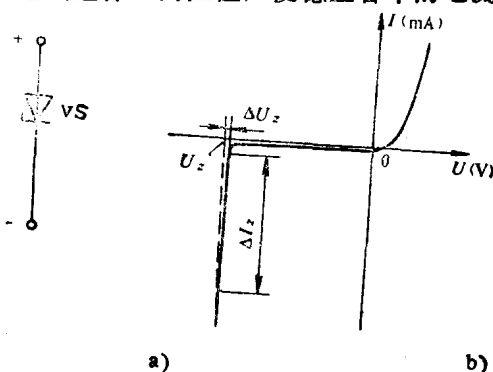


图1-12 稳压管的符号及伏安特性

a) 符号 b) 伏安特性

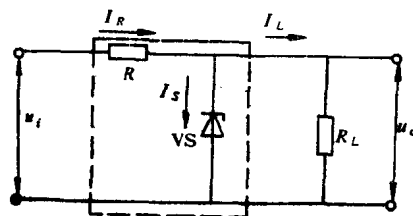


图1-13 稳压电路

(二) 光电二极管

光电二极管又叫做光敏二极管，其反向电流大小随光照强度的变化而变化。它的符号和伏安特性曲线如图1-14所示。

曲线中 E 表示照度， L_x 为照度单位。由曲线可知，反向电流与照度成正比。

光电二极管可用作光的测量传感或光电转换控制器件。

(三) 发光二极管

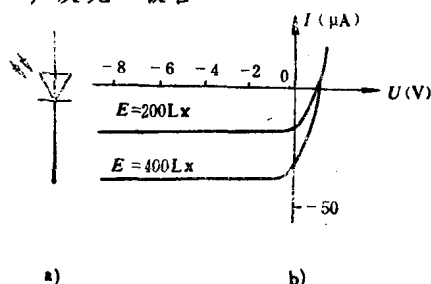


图1-14 光电二极管

a) 符号 b) 特性曲线



图1-15 发光二极管的代表符号

发光二极管是一种能将电能转换成光能的半导体器件，有时简写成LED。它通常用砷化

镓、磷化铟等制成。当这种管子通以电流时将发出光能，这是因为电子和空穴直接复合会释放出能量，产生出光子，使二极管发出一定颜色的光束。其符号如图1-15所示。

第三节 半导体三极管

半导体三极管又称双极型三极管，简称三极管。它在电子电路中既可用作放大元件，又可用作开关元件，应用非常广泛。

一、三极管的结构

三极管又常称为晶体管，它的种类很多。从其内部结构看，可分为NPN型和PNP型两种三极管。我国目前生产的NPN型多为硅管，PNP型多为锗管。

图1-16是NPN型和PNP型三极管内部结构示意图和对应的符号。图a、b是NPN型三极管，图c、d是PNP型三极管。

由图1-16可知，三极管的管心都是由两个PN结，三个区组成。三极管的三个区分别是集电区、基区和发射区；从三个区分别引出三个电极，它们分别叫做集电极C，基极B和发射极E；在三个区的交界处形成了两个PN结，分别是集电结、发射结。在电路中两种管子的符号分别如图1-16b和d所示。图中发射极的箭头表示发射结在加正向电压时的电流方向。

为了保证三极管具有电流放大作用，三极管的内部结构在制造工艺上有以下特点。

- ① 基区做得很薄，掺杂浓度很低，所以基区多数载流子的浓度很低。
- ② 发射区比集电区掺的杂质多，因此发射区的多数载流子浓度比集电区高。故三极管的集电极和发射极不能互换使用。

二、三极管的电流分配和放大原理

NPN型和PNP型三极管虽然结构不同，但工作原理是相同的。下面我们以NPN型管为例来说明三极管的电流分配和放大原理。

(一) 内部载流子的运动过程

三极管正常工作时，需要外加合适的电源电压。为了使三极管工作在放大状态，要求发射结外加正向电压，简称正向偏置；集电结外加反向电压，简称反向偏置。如图1-17所示。图中 E_B 为基极外接电源，它保证发射结正向偏置； E_C 为集电极外接电源，并且 $E_C > E_B$ ，以满足集电结反向偏置的要求； R_B 和 R_C 分别为基极回路和集电回路的串接电阻。下面分析三极管内部载流子的运动过程。

1) 发射区向基区注入电子，而形成发射极电流 I_E 。

由于发射结正向偏置，因此，发射区的多数载流子电子不断通过发射结向基区扩散，形成发射极电流 I_E ，其方向和电子流动方向相反。与此同时，基区的多数载流子空穴也要向发射区扩散，但由于发射区杂质浓度比基区高得多，故与电子流相比，空穴流可以忽略不计。

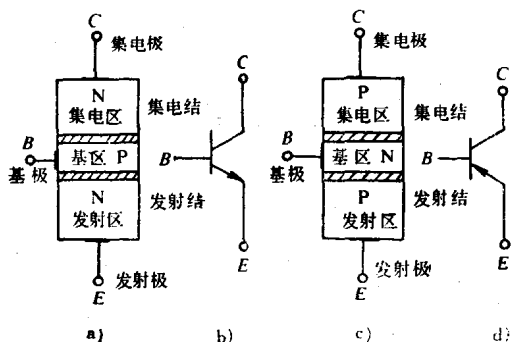


图1-16 三极管的结构和符号

a) NPN三极管 b) NPN管符号
c) PNP型三极管 d) PNP管符号

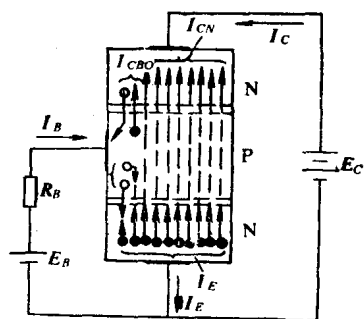


图1-17 三极管内部载流子的运动

所以,发射极电流 I_E 主要是电子电流。

2) 电子在基区中扩散和复合,而形成基极电流 I_B 。

由发射区注入基区的电子,在发射结附近积累起来,浓度很大,而靠近集电结附近电子浓度很小,形成浓度上的差别,因此,电子就要向集电结的方向扩散,在扩散过程中,电子不断与基区空穴复合形成电子流 I_{BN} ,复合的空穴由基极电源补充,而形成基极电流 I_B 。由于基区空穴浓度很低,且基区做得很薄,使电子在基区和空穴复合的数量很少,绝大多数都能扩散到集电结附近,所以形成的基极电流 I_B 也很小。

3) 集电区收集电子,形成集电极电流 I_C 。

由于集电结反向偏置,集电结所加电压产生的电场,一方面使集电区的电子和基区的空穴很难通过集电结;另一方面吸引基区中扩散到集电结附近的大量电子,将它们收集到集电区,形成收集电流 I_{CN} 。同时,它也使集电结两边的少数载流子即集电区的空穴和基区的电子向对方漂移,从而形成反向饱和电流 I_{CBO} 。

由此可见,集电极电流 I_C 是由 I_{CN} 和 I_{CBO} 两部分电流组成, I_{CBO} 的数值很小,受温度影响较大,使管子工作不稳定,所以在制造过程中应尽量设法减小 I_{CBO} 。

综上所述,半导体三极管内有自由电子和空穴两种载流子同时参与导电,故称为双极型三极管。三极管内部载流子运动过程示意图如图1-17所示。

(二) 电流分配关系

前面分析了三极管内部载流子的运动过程,下面讨论三个电极的电流分配关系。

三极管内各级电流的分配情况如图1-18所示。

三极管制成后,电子在基区复合所占比例也就确定了。也就是说,发射区注入的电子传输到集电结所占的比例是一定的。

从图1-18中可以得到以下各级电流之间的关系式。

$$I_C = I_{CN} + I_{CBO} \quad (1-1)$$

由于在常温下 I_{CBO} 数值很小,可忽略不计。故有

$$I_C \approx I_{CN} \quad I_E \approx I_{BN}$$

因为

$$I_E = I_{CN} + I_{BN} \quad (1-2)$$

所以

$$I_E = I_C + I_B \quad (1-3)$$

设

$$I_C = \beta I_B \quad (1-4)$$

故

$$I_E = \beta I_B + I_B = (1 + \beta) I_B \quad (1-5)$$

上式中把 I_C 与 I_B 的比值,定义为共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$,而交流电流放大系数用 β 表示,近似估算时,可认为 $\bar{\beta} = \beta$ 。详细内容后面还要提及。

(三) 放大作用

三极管放大电路如图1-19所示。因发射极是基极回路和集电极回路的公共端,所以称为共发射极放大电路。设 $I_B = 40\mu A$, $I_C = 2.4mA$, 则 $I_E = (0.04 + 2.4)mA = 2.44mA$, 电流分配比例即 $\beta = I_C / I_B$, $\beta = 60$ 。若调节 R_B ,使 I_B 增大了 $\Delta I_B = 10\mu A$,则 I_C 也相应增大了 $\Delta I_C = 0.01 \times 60mA = 0.6mA$ 。由此可见,基极电流的微小变化,会引起集电极电流很大变化,这说明三

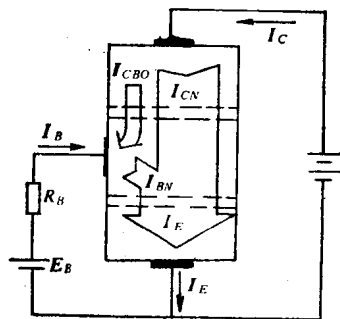


图1-18 三极管电流分配关系