



北京工业学院电视教育小组 编

半导体电路基础

(第一册)

科学出版社

半导体电路基础

(第二册)

北京工业学院电视教育小组 编

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书是为教育部和中央广播事业局共同举办的电视教育讲座编写的电子技术教材。

本书共分四册。第一册包括半导体器件,低频小信号放大电路,负反馈及低频功率放大电路。

第二册包括直流放大,整流滤波,稳压及自激正弦波振荡器等内容。第三、四册为脉冲及数字电路。

本书可供具有中等文化程度的工人、知识青年阅读,也可供大专院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

半 导 体 电 路 基 础 (第一册)

北京工业学院电视教育小组 编

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

*

1980年8月第一版 开本:787×1092 1/32

1985年9月第四次印刷 印张:12 1/4

印数:221,101—259,000 字数:281,000

统一书号:15031·207

本社书号:1280·15-7

定价: 2.00 元

内 容 简 介

本书是为教育部和中央广播事业局共同举办的电视教育讲座编写的电子技术教材。

本书共分四册。第一册包括半导体器件,低频小信号放大电路,负反馈及低频功率放大电路。

第二册内容包括直流放大电路,整流和滤波电路,直流稳压电源及自激正弦波振荡器,最后还介绍了半导体电路实验和电子测量仪器。书末附有第一、二册的习题答案。

第三、四册为半导体脉冲数字电路。

本书可供具有中等文化程度的工人、知识青年阅读,也可供大学、中等专业学校有关专业的师生参考。

2531/28

半 导 体 电 路 基 础

(第二册)

北京工业学院电视教育小组 编

责任编辑 张建安

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年1月第一版 开本:787×1092 1/32

1985年2月第三次印刷 印张:14 1/2

印数:128,401—164,500 字数:332,000

统一书号:15031·208

本社书号:1281·15-7

定价:2.40元

前 言

本书是为教育部和中央广播事业局共同举办的电视教育讲座编写的电子技术教材。

近代电子技术不仅在工业、农业、科学技术和国防方面获得了应用,而且已深入到医药、卫生、财贸、交通、文化艺术直至人民生活的许多领域。它是计算机、广播、通讯、电视、收音机、导航、雷达、自动控制和仪器仪表等科学技术部门的主要构成部分。电子技术的发展及其在各个部门的广泛应用,已成为近代科学技术发展和文明的一个重要标志。为了加快我国四个现代化的进程,普及电子技术显然十分重要。

电子技术包含的内容十分丰富,限于讲授时间与篇幅,本书只能涉及其中很小的一个基础部分——半导体电路基础。而且就在半导体电路中,我们介绍的也仅是低频放大电路和脉冲及数字电路。第一、二册为低频放大电路,第三、四册为脉冲及数字电路。为了对半导体电路有较深入的认识,本书第一章介绍了半导体器件,由于一个半导体设备一般都有半导体电源,所以我们除了写一般的半导体电路外,还加进了半导体的整流、滤波和稳压电路。第三册介绍分立元件的脉冲电路,第四册介绍数字电路和一些基本的数字集成电路。

考虑到讲座主要针对中等文化程度的听众,本书力求不用高等物理与高等数学的计算公式和方法,而着重叙述电路的基本工作原理、物理概念、基本计算方法和基本的测试仪器及其使用方法。为了学好这本教材,读者应具有初中以上程度的物理、化学、数学和电工原理知识,在每章后面我们还附

有习题和思考题,以便读者进一步掌握和运用基本概念。

在学习过程中,我们希望读者尽可能将学到的理论和实际结合起来,这是因为半导体电路是实践性很强的一门学科,只有边学边实践才能加深理解。可以利用手头已有的或能购置的一些材料和简单的万用表之类的仪器(有示波器和信号发生器等更好),做些实验,或对自己从事的工作进行技术改进,使得学以致用,不断推动生产和技术水平的提高。

我们编写这本教材是初步尝试,加上时间十分匆促,缺点和错误之处望听众和读者给我们提出指正。

本书由张润泉、张著、任世隆、苏舫、阎凤坛、胡启俊、王金良等同志编写,试验电路是何产棣同志制作的,书中插图是田桂林、贺英同志清绘的,参与校阅的还有北京工业学院无线电系和其他单位的有关同志。对于所有为本书出版付出过辛勤劳动的同志,我们在此一并致以谢意。

北京工业学院无线电系

电视教育小组

1979年2月

目 录

前言	i
第一章 半导体二极管和三极管	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 P-N 结	10
第三节 半导体二极管的特性和参数	22
第四节 半导体三极管的工作原理	38
第五节 半导体三极管的特性曲线和主要参数	56
第六节 半导体三极管的简易测试	72
小结	79
思考题	82
附录一 国产半导体器件型号的命名方法	84
附录二 半导体二极管参数举例	85
附录三 半导体三极管参数举例	86
第二章 低频小信号放大电路	95
第一节 关于低频放大器的基本常识	95
第二节 单级低频小信号放大电路的工作原理	101
第三节 单级低频小信号放大电路的分析和计算	114
第四节 低频放大电路的图解分析法	139
第五节 静态工作点的稳定和偏置电路的计算	154
第六节 多级低频放大电路	170
小结	190
思考题	199
练习题	203
第三章 负反馈放大电路	209
第一节 什么是负反馈放大电路	209

第二节	负反馈对放大电路性能的改善	244
第三节	几种常用基本负反馈放大电路的分析	251
第四节	多级放大电路中的负反馈	284
小结		289
思考题		291
练习题		292
第四章	低频功率放大电路	295
第一节	低频功率放大电路的特点	295
第二节	单管甲类功率放大电路	300
第三节	乙类推挽功率放大电路	320
第四节	无变压器的推挽功率放大电路	344
第五节	集电极最大允许耗散功率	365
第六节	功率放大电路应用举例	371
小结		381
思考题		382
练习题		384

目 录

第五章 直流放大电路	387
第一节 直流放大电路的特殊问题	387
第二节 差分放大电路	397
第三节 调制式直流放大电路	435
第四节 集成运算放大器简介	452
小结	469
思考题	470
练习题	472
附录 场效应管的工作原理和特性	474
第六章 整流和滤波电路	507
第一节 半波整流和电容滤波电路	508
第二节 全波整流和电容滤波电路	518
第三节 桥式整流和电容、电感滤波电路	526
第四节 倍压整流电路	539
第五节 整流滤波电路的设计	546
第六节 复合式滤波电路	550
第七节 小功率整流变压器的设计与制造	563
小结	582
思考题	583
练习题	585
附录 常用半导体整流二极管参数	586
第七章 半导体直流稳压电源	593
第一节 硅稳压管及其稳压电路	594
第二节 串联型半导体管直流稳压电源	607
第三节 串联型稳压电路性能的改进	628

第四节 可调式稳压电源及保护电路	641
第五节 稳压电源的调试及安装中的注意事项	651
第六节 应用电路举例	656
小结	663
思考题	665
练习题	666
附表	668
第八章 自激正弦波振荡器	673
第一节 LC 正弦波振荡器的工作原理	674
第二节 LC 振荡器电路的分析	687
第三节 LC 振荡器的设计考虑与调整	703
第四节 频率稳定度	710
第五节 RC 振荡器	715
第六节 石英晶体振荡器	731
第七节 振荡器应用举例	742
小结	746
思考题	748
练习题	752
半导体电路实验和电子测量仪器简介	753
半导体电路实验	753
实验一 半导体三极管的判别和直流参数的测定	754
实验二 直流稳压电路的调整和测试	758
实验三 LC 振荡电路的调试和研究	762
实验四 阻容耦合放大电路的调试和研究	765
实验五 射极输出器的调试和研究	768
实验六 结型场效应管性能的研究和放大电路的调试	771
实验七 低频功率放大电路的调试和研究	776
实验八 差动放大电路的调试和研究	779
实验九 运算放大器的应用	782

电子测量仪器简介	790
一、万用表和电子伏特计	790
二、万用电桥和Q表	805
三、电子示波器	810
四、测量用信号源	818
五、电子计数器和数字式仪表	826
六、半导体管特性图示仪	836
七、仪表系统中常用的传感器	840
习题答案	843

第一章 半导体二极管和三极管

我们都知道,半导体电路的应用很广,种类也很多,但是就其组成内容来看,主要是由半导体管和交直流电路两部分组成的。所以要研究半导体电路,不仅要用到已经学过的交直流电路的基本概念和分析计算方法,而且还要用到有关半导体管工作原理和特性的基本知识。因此,在研究半导体电路之前,首先介绍一下半导体管的工作原理和特性是十分必要的。这里所说的半导体管主要是指半导体二极管和三极管,也就是我们常说的晶体二极管和三极管。

第一节 半导体的基本知识

半导体管都是用半导体材料做成的,因此,要了解半导体管的工作原理和特性,首先必须对半导体的性质有所认识。

一、什么是半导体

大家常见的电线,主要是由两种材料做成的,里面的铜线或铝线是用来传送电能的,外面裹着的橡皮或塑料是用来隔离外界,防止触电的,可见选用这两种材料的原因,主要是因为它们的导电能力有很大差别。我们把容易导电的物体通称为导体,如金、银、铜、铝等;而把不容易导电的物体通称为绝缘体,如陶瓷、云母、塑料、橡胶等。可是除了导体和绝缘体之外,还存在着一大类物质,其导电能力介于导体和绝缘体之

间,通称为半导体,如锗、硅、砷化镓等。

其实,半导体之所以能成为制做半导体管的材料,并不是因为它的导电能力介于导体和绝缘体之间,而是由于它具有一些独特的导电性能。举例来说,同一块半导体,在不同的温度下或不同强度的光线照射下,它的导电能力会有非常大的区别;在纯的半导体中,适当掺入极微量的有用的杂质元素,它的导电能力会有成百万倍的增加等等。我们正是利用半导体的这些独特性能,制出了各种不同功能的电子器件。半导体为什么会有这些独特的导电性能呢?这要从半导体的内部结构谈起。

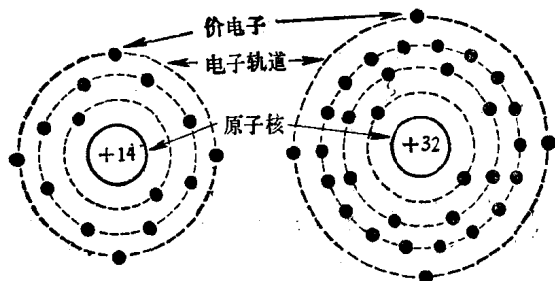
二、半导体的内部结构和导电特性

1. 半导体的内部结构

我们知道,物质是由原子组成的,原子是由带正电的原子核和若干带负电的电子组成的,电子分几层围绕原子核不停地运动。在同一个原子中,内层电子受原子核的吸引力较大,外层电子受原子核的吸引力较小,影响物质导电性能的主要是外层电子。

现在让我们具体看看如图 1-1 所示的半导体材料硅和锗的原子结构。

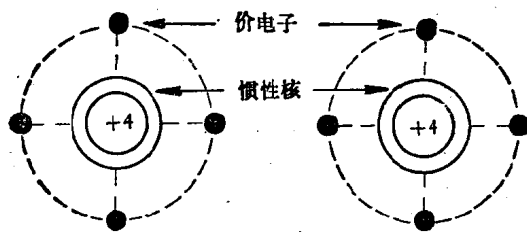
由图 1-1 (a) 可见,硅原子由带正电的原子核和围绕着它的 14 个带负电的电子组成,14 个电子按一定的规律分布在三层电子轨道上,由于原子核带 14 个电子电量的正电,所以正常情况下原子呈现中性。靠近原子核的里面两层的 10 个电子,由于受原子核的束缚力较大,很难有活动的余地,所以它们和原子核组成一个惯性核,它的净电量是 $14 - 10 = +4$ 个电子电量,而最外层的四个电子,受原子核的束缚力较小,



(a) 硅(Si)原子结构 (b) 锗(Ge)原子结构

图 1-1 硅、锗原子结构平面示意图

通常称为价电子。为了讨论方便，可以根据这种设想，把图 1-1 (a) 所示的硅原子结构改画成如图 1-2 (a) 所示的简化结构。同理，也可以把图 1-1 (b) 所示的锗原子结构改画成如图 1-2 (b) 所示的简化结构。



(a) 硅(Si)原子 (b) 锗(Ge)原子

图 1-2 原子结构简化图

由图 1-2 可见，硅和锗原子的特点都是在一个惯性核周围环绕着四个价电子，通常有几个价电子就叫几价元素，所以硅和锗都是四价元素。

为了搞清半导体的独特导电性能，还需要进一步了解硅、锗半导体晶体中的原子排列情况。应当指出，用于制作半导体管的硅、锗材料，都必须是经过加工提炼成的纯净的单晶半导体，在单晶半导体中，其原子排列已由杂乱无章的状态变成了

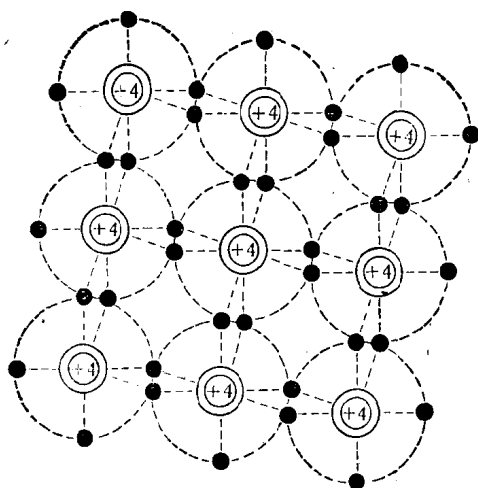


图 1-3 硅或锗单晶体的结构平面示意图(共价键结构)

非常整齐的状态,图 1-3 是硅或锗单晶体的结构平面示意图,本来应该画成立体结构,为了便于观察,画成了平面结构。

由图可见,各原子之间的距离都相等,而且相距很近。由于每个原子的最外层有四个价电子,而且原子的外层电子要有八个才是稳定状态,因此,原子与原子在组成晶体时,每一个原子都要争夺周围相邻的四个电子组成稳定状态,这样一来,每相邻两个原子都共用一对电子,叫“共有”电子对。“电子对”中的任何一个电子,一方面围绕自己原子核运动,另一方面也出现在相邻原子所属的轨道上,这种运动方式形成了联系两个原子的束缚作用,就象链条一样把两个原子互相拉住,不易远离,我们把这两个“共有”的价电子所形成的束缚作用叫做“共价键”。所以,在单晶体内,各个原子都要分别和相邻近的四个原子组成四个共价键,而所有共价键中的价电子都被束缚在相邻两原子的外层轨道上。这样的组合方式称为“共价键结构”,如图 1-3 所示的情形。

2. 半导体的导电特性

半导体硅、锗共价键结构的特点是：共价键内的共有价电子所受到的束缚力，并不那么紧，在一定温度下或在一定强光的照射下，由于热能或光能转化为电子的动能，其中少数电子就可能挣脱束缚而成为自由电子。由于自由电子是带负电荷的粒子，在外电场的作用下可以作定向运动形成电子流，所以自由电子又称为带负电的载流子。

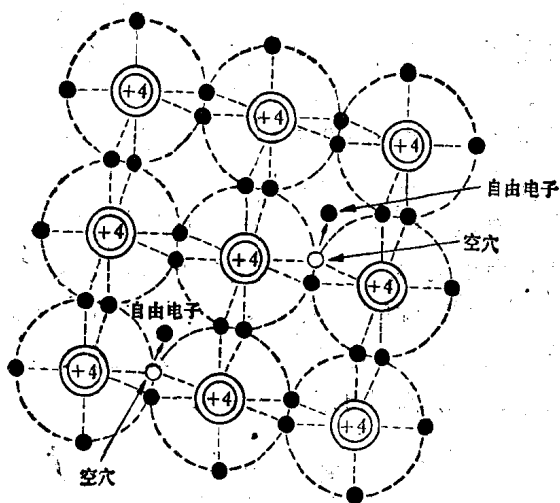


图 1-4 热运动产生的电子-空穴对

值得注意的是：共有价电子在挣脱束缚成为自由电子以后，同时留下了一个空位，如图 1-4 所示的情形，有了这样一个空位，附近的共有价电子就能很容易地过来填补，当然过来的电子又会在其原址留下新的空位，这个新空位又会被其附近的共有价电子所填补，依次递补，必然形成一种共有价电子的运动。不过由于空位的出现是原子失去电子的结果，而原子失去电子必然要显正电性，因此可以认为空位是带正电的。

所以又可以把上述共有价电子的运动，想像成为一个带正电的空位在半导体的中作与价电子反向的移动。为了区别于带负电的自由电子的运动，就把这种空位的运动称为“空穴”运动，空位称为“空穴”，可见空穴也是一种载流子，而且是带正电的载流子。

打个通俗的比喻，大家坐在礼堂里开会，如果前边走了人出现了空位，坐在后面的人就喜欢往前坐，这样人们依次递补空位向前坐，看起来就好象空位子向后运动一样。显然，这种移动和没有座位的人到处走动是不一样的，后一种好比是自由电子的运动，而有座位的人依次递补空位的移动则好比空穴运动。

由此可见，在一定温度下，半导体中存在着两种载流子，一种是带负电的自由电子，另一种是带正电的空穴，所以半导体在外加电压作用下，将同时产生两种载流子的导电现象，如图1-5所示的情形。其中的自由电子向正极移动形成电子电流，而空穴向负极移动形成空穴电流，因此流过外电路的电流等于电子电流和空穴电流的代数和，这就是纯单晶半导体的导电方式。下面我们再作一些说明。

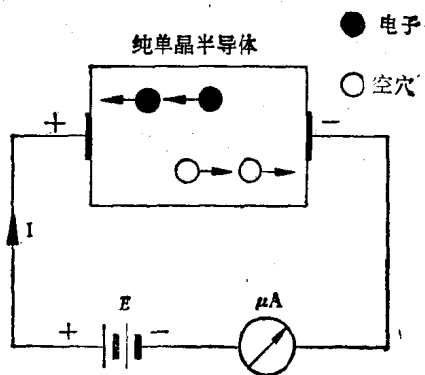


图1-5 半导体中载流子的移动