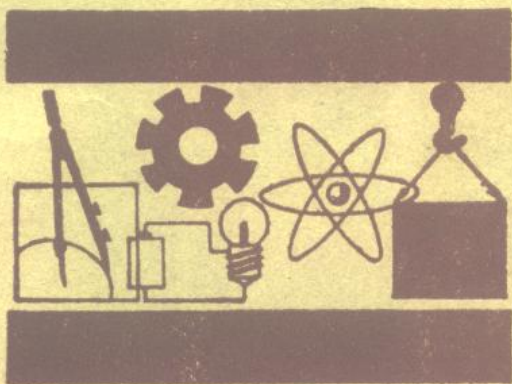


CHUJI

初级技术理论教育用书

电子技术基础



中国铁道出版社

Jishulilun jiaoyuyongshu

CHUJI

高级技术理论教育丛书

电子·技术·基础



中国铁道出版社

Jishu lilun jiaoyuyangshu

717
5
初级技术理论教育用书

电子技术基础

济南铁路机械学校 蔡孟博
锦州铁路职工学校 陈奇功 编
锦州铁路运输学校 邸宝印

中国铁道出版社

1983年·北京

初级技术理论教育用书

电子技术基础

蔡孟博、陈奇功、邸宝印编

中国铁道出版社出版

责任编辑 倪嘉寒

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：8 字数：178千

1983年1月第1版 1983年8月第2次印刷

印数：80,001—110,000册 定价：0.70元

前 言

为了切实搞好全路青壮年职工文化、技术补课工作，按照铁道部颁布的“铁路技术工人初级技术理论教育教学计划”要求编写了这本教材。经1982年4月南京会议研究确定，本书按120学时左右编写，在内容安排上着重于加强电子技术的基本概念，有关脉冲技术方面的内容，因需要较高的数学基础不宜编入初级教材中。

本书使用对象为具有初中毕业文化程度的电务专业各工种的工人及内燃、电力机车乘务员、车电钳工、电力工等工种学习，各工种也可根据需要选学有关内容。

本书第一至三章由锦州铁路运输学校邸宝印执笔，第四、五章由锦州铁路职工学校陈奇功执笔，第六、七章由济南铁路机械学校蔡孟博执笔，全书由蔡孟博同志校阅。

本书的缺点和不足之处，望各单位在使用过程中及时提出。

铁路职工初级技术理论教育用书编写组

一九八二年七月

内 容 简 介

本书是根据铁道部颁布的“初级技术理论教育教学计划”编写的。为了照顾各个工种的不同要求，在内容安排上着重于加强电子技术方面的基本概念，全书共分七章，包括晶体二极管、晶体二极管整流电路及稳压电路、晶体三极管的基本知识、低频放大器、功率放大器、正弦振荡电路和可控整流电路等内容。每章后均有小结、习题和思考题，习题均附有答案。

目 录

第一章 晶体二极管	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 PN结	9
第三节 晶体二极管	15
小结	21
习题和思考题	23
第二章 二极管整流电路及稳压电路	24
第一节 整流电路	25
第二节 滤波电路	37
第三节 硅稳压管与稳压电路	43
小结	49
习题和思考题	52
第三章 晶体三极管的基本知识	54
第一节 晶体三极管的基本结构和分类	54
第二节 晶体三极管的放大原理	56
第三节 晶体三极管的特性曲线和主要参数	64
第四节 晶体三极管的简易测试	75
第五节 半导体器件的型号	82
小结	83

习题和思考题	84
--------------	----

第四章 低频放大器86

第一节 放大器的基本概念	86
第二节 三极管放大电路的三种基本接法	87
第三节 共发射极放大电路	88
第四节 放大电路的分析方法	96
第五节 偏置电路和静态工作点的稳定	115
第六节 多级放大器	127
第七节 放大电路中的负反馈	133
小结	149
习题和思考题	151

第五章 功率放大器155

第一节 功率放大器的特点	155
第二节 单管（甲类）功率放大器	157
第三节 推挽（乙类）功率放大器	167
小结	177
习题和思考题	178

第六章 正弦波振荡器180

第一节 自激振荡的基本原理	180
第二节 LC 谐振回路	184
第三节 几种 LC 振荡电路	191
第四节 LC 振荡电路应用举例	202
第五节 石英晶体振荡器	206
小结	213
习题和思考题	214

第七章 可控硅整流电路	217
第一节 概述	217
第二节 可控硅整流元件	217
第三节 具有电阻性负载的可控整流电路	223
第四节 具有电感性负载的可控整流电路	228
第五节 可控硅触发电路	231
第六节 可控硅元件的保护	238
第七节 可控硅其它应用举例	241
小结	243
习题和思考题	244
习题答案	246

第一章 晶体二极管

第一节 半导体的基本知识

晶体管都是用半导体材料做成的，因此，要了解晶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

在生产实践和日常生活中，我们常见的电线，主要是两种材料做成的，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。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、铁等；而把不容易导电的物体通称为绝缘体，如塑料、有机玻璃、橡胶、陶瓷、云母等。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，称为半导体。锗和硅（其化学符号分别是Ge和Si）就是两种主要的半导体材料。

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，它的导电能力会有很大的变化。在纯的半导体中，适当掺入极微量的杂质，它的导电能力就会成十万倍、百万倍地增加。我们正是利用半导体的这些独特性能，作成热敏电阻、光敏电阻、光电二极管、光电三极管等半导体器件。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

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，影响物质导电性的主要是外层电子。

现在让我们具体讨论图 1—1 所示的半导体材料硅或锗的原子结构。

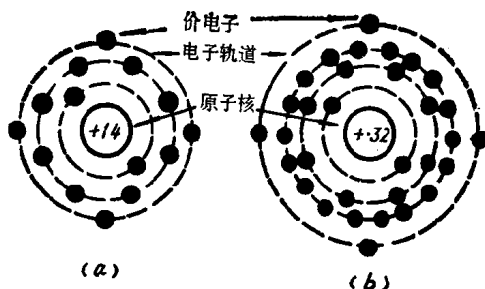


图 1—1

在图 1—1 (a) 中，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中性。靠近原子核的里面两层 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，通常称为价电子。为了讨论方便，可以把图 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。

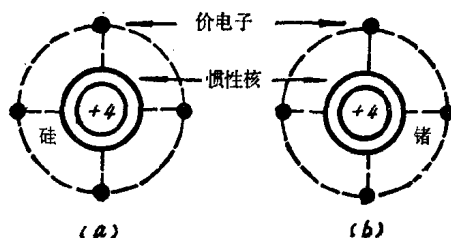


图 1—2

由图 1—2 可见，硅和锗原子都是在一个惰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非常整齐的状态，图 1—3

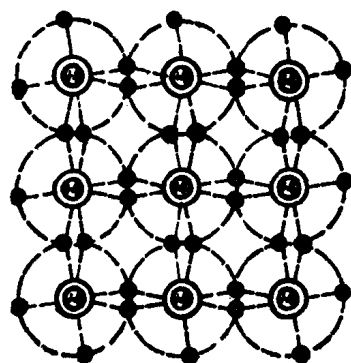


图 1—3

是硅或锗单晶体的结构平面示意图。

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只有四个价电子，而原子的外层电子要有八个才是稳定状态，因此，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，每两个相邻原子都

共用一对电子，叫共有电子对。共有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纽带，就象链条一样把两个原子结合在一起。我们把这两个共有的价电子所形成的联系纽带叫做共价键。所以，在单晶体内，每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 所示的情况。

三、本征半导体

(一) 本征激发产生电子-空穴对

一块不含杂质的纯净的半导体，叫做本征半导体。本征半导体硅和锗的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，在一定温度或一定强光的照射下，由于热能或光能转为电子的动能，其中少数价电子就可能挣脱原子核的束缚而成为自由电子，同时在原来共价键的位置上，留下了相

应数量的称为空穴的空位子，这种现象叫做本征激发。在本征半导体中，每激发出一个自由电子，就必然同时产生一个空穴。因此电子和空穴总是相伴而生、成对出现的，叫做电子-空穴对（如图 1—4 所示）。另一方面，自由

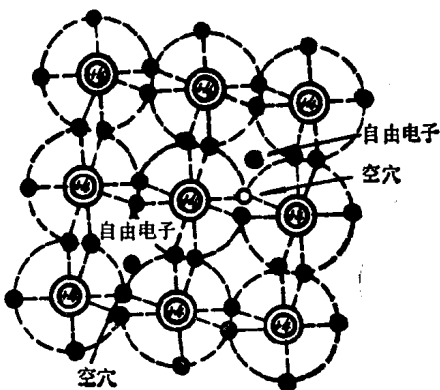


图 1—4

电子在运动中，又会不断地与空穴重新结合，这是一种相反的过程，叫做复合。电子-空穴对又激发又复合，在半导体内不断地运动。在一定温度条件下，这种运动可能达到相对的平衡。这时，本征激发和复合的过程，虽然仍在继续不断进行，但在整块本征半导体中电子-空穴对却维持一定的数目。

总之，由于原子的热运动，引起本征激发，产生电子-空穴对。温度越高，本征激发越厉害，所产生的电子-空穴对也就越多，半导体的导电能力就得到增强。

(二) 本征半导体导电的重要特性

当一个价电子在挣脱了原子核的束缚而成为自由电子后，同时在这个原子上留下一个电子的空位，即空穴。我们知道，电子是带负电的，原子核是带正电的，两者数量相等，所以在一般情况下，原子是中性的，如果跑出去一个电子，原子的中性就被破坏，而显出正电。也可以说，原子中出现了带正电的空穴。

这样一来，有空穴的原子就带正电，能吸引电子，把相邻原子中的价电子吸引过来，填补这个空穴，同时在这个相邻原子中就出现另一个空穴。如此继续下去，带正电荷的空穴就象接力赛跑一样运动起来。打个通俗的比喻，大家坐在礼堂里开会，如果前边的人走了出现了空位，坐在后面的人就喜欢往前坐，这样人们依次填补空位向前坐，看起来就象空位子向后运动一样。显然，这种移动和没有坐位的人到处走动是不一样的，后者（没有坐位的人）好比是自由电子运动，而有坐位的人依次填补空位的运动则好比空穴的运动。

由此可见，在一定温度下，半导体中存在着两种可以移动的带电粒子，称为载流子。一种是带负电的自由电子，

另一种是带正电的空穴。因此，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。

其中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，这就是本征半导体的导电方式。

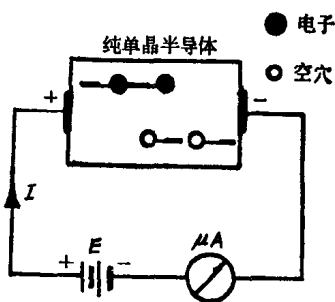


图 1—5

总之，在导体中只有电子一种载流子，而在半导体中却同时存在着电子和空穴两种载流子，存在着电子电流和空穴电流两种导电形式，这是半导体导电的一种重要特点。

四、N型和P型半导体

在本征半导体里，虽然由于本征激发，产生了电子和空穴两种载流子，但是在常温下，本征激发所产生的载流子的总数是极少的，即本征半导体的导电能力是很差的，几乎接近于绝缘体，所以用处不大。

但是，半导体材料的导电性能，可以人为地加以控制。例如，温度升高，光线照射，有选择地在本征半导体中掺入少量的杂质，就可以使它的导电性能显著提高，而接近于导体。半导体为什么会有这样奇怪的特性呢？这仍然是由它内部的共价键结构所决定的。

(一) N型半导体

若在硅单晶半导体中掺入少量的五价元素，例如磷，磷原子就会与硅原子组成共价键结构如图 1—6 所示。

由于磷原子的数目比硅原子要少的多，因此整个晶体结

构基本不变，只是某些位置上硅原子被磷原子所代替。但由于磷原子具有五个价电子，所以一个磷原子同相邻的四个硅原子结成共价键后，还多余一个价电子，这个价电子没有被束缚在共价键内，很容易挣脱磷原子核的束缚成为自由电子。这样，掺进一个磷原子就会出现一个自由电子，这就使这种半导体内的自由电子数目天天增加。由于这种半导体主要依靠电子导电，所以叫做电子型半导体，简称N型半导体。

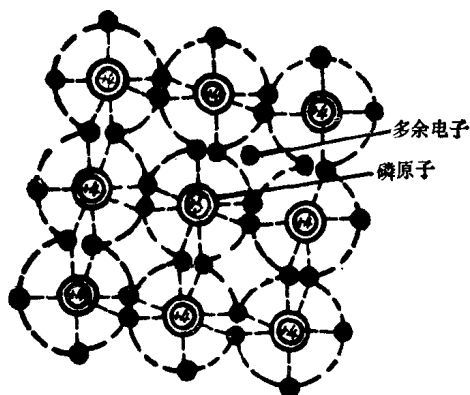


图 1—6

在N型半导体中，除了由于掺杂产生的大量自由电子外，还有由于热激发产生的少量电子-空穴对，因此在这种半导体中，空穴的数目与自由电子的数目相比是极少的，所以把空穴称为少数载流子，而把电子称为多数载流子。此外，在N型半导体中，还有一种不能导电的带电粒子，那就是失去了一个价电子的磷原子，叫做正离子。正离子虽然带正电，但它不能自由移动而形成电流，所以不能叫做载流子。

(二) P型半导体

若在硅单晶半导体中掺入少量的三价元素，例如硼，那么，硼原子也会与硅原子组成共价键结构，如图 1-7 所示。

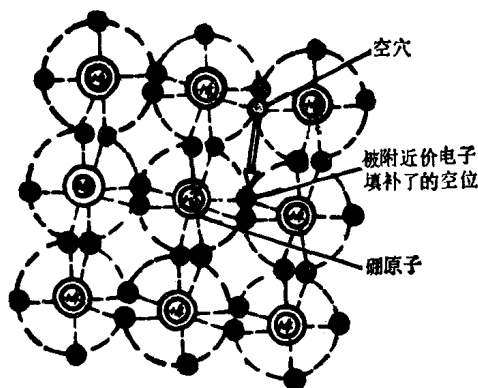


图 1-7

显然，图示情况与N型半导体完全不同，因为硼的原子只有三个价电子，当它同相邻的四个硅原子结成共价键时，还缺少一个价电子，因而在一个共价键上要出现一个空位置，但是为了满足结成四对共价键的需要，这个空位置很容易接受一个外来电子的填补，而附近硅原子的共有价电子在热激发下，也很容易转移到这个空位置上来，于是就在那个硅原子的共价键上出现了一个空穴。硼原子接受了一个价电子之后就成了带负电的硼离子。这样，每个硼原子都能接受一个价电子，同时在附近产生一个空穴，从而使硅单晶半导体中的空穴载流子数目大大增加，可见这种半导体主要是靠空穴导电，所以叫空穴半导体，简称P型半导体。同样，在P型半导体中也有由于热激发而产生的少量电子-空穴对，所以在P型半导体中，与N型相反，空穴是多数载流子，而电子是少数载流子。