

无线电 爱好者读本 (上) (第二次修订本)

本书编写组
编著



无线电爱好者丛书

多次重印，畅销不衰

介绍了电子器件及
各种单元电路

通俗易懂的原理介绍
透彻深入的电路分析

使读者轻松步入
“电子世界”

精
品
系
列

人民邮电出版社

无线电 爱好者读本

(上)

(第三版增订本)

无线电爱好者读本

· 上 ·

人民邮电出版社

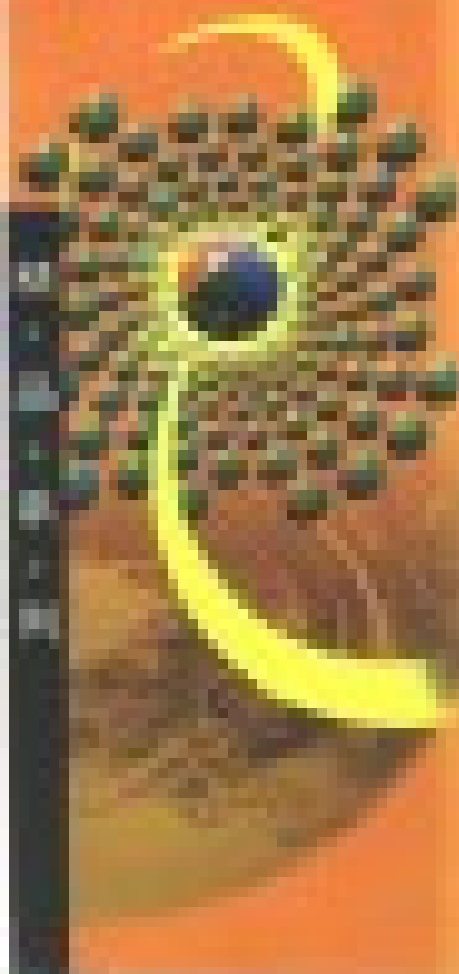
ISBN 7-113-08000-0

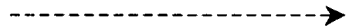
定价：35.00元

（全二册）

（上）

人民邮电出版社




无线电爱好者丛书精品系列 



无线电爱好者读本

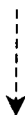
(第二次修订本)(上)



本书编写组 编著



人民邮电出版社



图书在版编目(CIP)数据

无线电爱好者读本,上/本书编写组编著. - 3版(修订本). - 北京:人民邮电出版社,2000.1

(无线电爱好者丛书精品系列)

ISBN 7-115-07864-5

I. 无... II. 本... III. 无线电技术 - 普及读物 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 14669 号

无线电爱好者丛书精品系列

无线电爱好者读本(上)

第二次修订本

◆ 编 著 本书编写组
责任编辑 唐素荣

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/32

印张:19.125

字数:438 千字

2000 年 1 月第 3 版

印数:567 151 - 572 150 册

2000 年 6 月北京第 17 次印刷

ISBN 7-115-07864-5/TN·1499

定价:25.00 元



内容提要

《无线电爱好者读本》(简称《读本》)是中国电子学会组织编写的“无线电爱好者丛书”中的一种,这次修订后又被列入“无线电爱好者丛书精品系列”。这次是在1993年修订本的基础上对原书内容再次进行了更新、充实及必要的删节,并保持了原书系统性强、深入浅出、通俗易懂、取材新颖,科学性、知识性、趣味性、实用性并重的特点。

本书从各种现代无线电设备的共性出发,系统地介绍了电子器件的基础知识,以及各种无线电单元电路(其中包括放大电路、电源电路、正弦波振荡电路、调制与解调电路、混频电路和变频电路、集成运算放大电路、数字集成电路等)的工作原理和分析方法。在写法上侧重讲清物理概念,避免繁琐的数学推导,以适合具有中等文化程度的读者学习。



前 言

广大无线电爱好者大多是从业余制作起步的,通过制作一些简单的无线电设备,积累了初步的实践经验,产生了日益浓厚的兴趣,由此进一步去探索无线电世界的奥秘。但是,无线电技术的初学者,在分析比较复杂的电子电路或对无线电整机进行调试和修理时,却由于缺乏比较系统的理论知识而感到困难和吃力。理论基础薄弱羁绊了无线电爱好者长足进取。为了向具有中等文化水平的读者普及无线电电子学方面的基础知识,系统地介绍无线电路的基本原理和基本分析方法,指导他们更好地从事业余无线电实验和制作活动,我们编写了这套书。

《读本》是中国电子学会组织编写的“无线电爱好者丛书”中的一种,自1983年出版以来,深受读者欢迎,连年重印,畅销不衰。1993年又出版了本书的修订本。近年来,无线电技术发展十分迅速,新型电子器件不断涌现,无线电设备特别是音像设备及通信设备不断更新换代。当前,为了贯彻党和政府提出的科教兴国和可持续发展战略,电子科学技术的普及工作越来越受到各方面的重视。由中国科学技术协会青少年工作部和《无线电》杂志编辑部联合举办的全国“少年电子技师”等级证书认定活动,正在全国范围蓬勃展开,无线电爱好者的队伍不断壮大,业余无线电活动的内容也在更新和变化。在这样的形势下,《读本》1993年修订本的内容已经不能适应无线电爱好者新的、更高的需求。为此,根据广大读者的意见,我们对原书再次进行了修订。

《读本》不涉及某种设备的制作工艺、调试、维修等内容,主要是从各种无线电设备的共性出发,比较深入地阐述了各种电子器件、无线电单元电路以及整机的工作原理和分析方法。在写法上侧重讲清物理概念,尽量避免繁琐的数学推导,力求深入浅出,通俗易懂,便于自学。这次修订在保持原书特色的前提下,进行了全面改写,更加突出了内容的新颖性和实用性,删去了介绍一般科普知识的“绪论”、“微型计算机基础知识”等章节,新增了“Hi-Fi 及 AV 家庭影院”、“光盘”等当前比较热门的内容。

《读本》(第二次修订本)分上、中、下三册出版。上册内容包括“电子器件”、“放大电路基础”、“电源电路”、“正弦波振荡电路”、“调制与解调电路”、“混频电路与变频电路”、“集成运算放大电路”、“数字集成电路”等八章,由宋东生编写;中册内容包括“Hi-Fi 及 AV 家庭影院”、“收音机”、“录音机”三章,由张庆双和张春元编写;下册内容包括“电视机”、“录像机与摄像机”、“光盘机”三章,由张燕杰、聂元铭、杨克威编写。

本书 1983 年第一版和 1993 年修订本的作者为宋东生、李璜、张春元、王行国、赵锡禄、张爱华、王贯一、杨克威、朱凯、许茂祖等同志,他们为无线电技术的普及作出了贡献,在此表示诚挚的感谢。

编者



目 录

第一章 电子器件	1
第一节 什么是半导体	1
第二节 半导体器件的核心——PN 结	7
第三节 半导体二极管及稳压管	11
第四节 半导体三极管	18
第五节 场效应管	34
第六节 晶闸管(可控硅)	46
第七节 半导体光电器件	51
第八节 电真空器件	59
第二章 放大电路基础	96
第一节 放大电路的组成和主要性能指标	97
第二节 放大电路的基本分析方法	102
第三节 多级放大电路	137
第四节 负反馈放大电路	155
第五节 功率放大电路	183
第六节 高频放大电路	213
第三章 电源电路	239
第一节 二极管整流电路	239
第二节 平滑滤波电路	246
第三节 倍压整流电路	254

第四节	硅稳压管稳压电路	259
第五节	串联型晶体管稳压电路	265
第六节	集成稳压电路	279
第七节	开关式稳压电路	293
第八节	晶闸管可控整流及调压电路	303
第四章	正弦波振荡电路	321
第一节	LC 回路中的电磁振荡	322
第二节	LC 正弦波振荡电路	329
第三节	RC 正弦波自激振荡电路	344
第四节	石英晶体正弦波振荡电路	352
第五节	陶瓷滤波器振荡电路	358
第六节	正弦波振荡电路实例分析	363
第五章	调制与解调电路	371
第一节	从无线电的发送与接收谈起	371
第二节	振幅调制电路	375
第三节	调幅信号的解调(检波)	382
第四节	频率调制电路	394
第五节	调频信号的解调(鉴频)	403
第六章	混频电路与变频电路	412
第一节	混频电路的组成及工作原理	413
第二节	晶体管混频电路	422
第三节	二极管混频电路	430
第七章	集成运算放大电路	431

第一节	集成电路概述	431
第二节	运算放大电路的基本概念	434
第三节	集成运算放大电路中的基本单元	444
第四节	集成运放产品电路分析示例	458
第五节	集成运算放大电路的主要参数及测试	466
第六节	集成运算放大电路应用示例	473
第八章	数字集成电路	482
第一节	二极管与晶体管开关	483
第二节	逻辑代数与逻辑电路	490
第三节	集成门电路	504
第四节	触发器	515
第五节	计数器	536
第六节	译码器及数字显示器	547
第七节	寄存器	554
第八节	存储器	557
第九节	基本脉冲电路	574
第十节	时基集成电路及其应用	591

第一章

电子器件

第一节 什么是半导体

“半导体”在现代电子技术中扮演着极为重要的角色。形形色色的半导体器件已经成为电子设备的心脏,无线电爱好者更是整日和半导体器件打交道。所以,学习和掌握半导体的基础知识是十分必要的。

什么是半导体呢?从电的观点来看,可以把物质分成三大类:容易传导电流的物质,如银、铜、铝、铁等,称为导体;能够可靠地隔绝电流的物质,如橡胶、塑料、陶瓷、云母等,称为绝缘体;导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,则称为半导体。常用的半导体材料有硅、锗、硒、砷化镓以及金属的氧化物和硫化物,等等。

单纯从导电性能来看,半导体既不能很好地传导电流,又不能可靠地隔绝电流,所以它在电工和电子技术领域中,曾长期受到冷遇。直到1948年发明了晶体管,人们才发现半导体的许多奇妙而可贵的特性,也正是半导体器件的应用引起了电子学领域的第二次革命。

一、半导体的奇妙特性

半导体主要有以下几个方面的重要特性:

1. 热敏特性

半导体的电阻率随温度变化会发生明显地改变。例如纯锗,温度每升高 10°C ,它的电阻率就要减小到原来的 $1/2$ 。温度的细微变化,能从半导体电阻率的明显变化上反映出来。利用半导体的热敏特性,可以制作感温元件——热敏电阻,用于温度测量和控制系统中。值得注意的是,各种半导体器件都因存在着热敏特性,在环境温度变化时影响其工作的稳定性。

2. 光敏特性

半导体的电阻率对光的变化十分敏感。有光照时,电阻率很小;无光照时,电阻率很大。例如,常用的硫化镉光敏电阻,在没有光照时,电阻高达几十兆欧姆,受到光照时,电阻一下子降到几十千欧姆,电阻值改变了上千倍。利用半导体的光敏特性,制作出多种类型的光电器件,如光电二极管、光电三极管及硅光电池等,广泛应用在自动控制和无线电技术中。

3. 掺杂特性

在纯净的半导体中,掺入极微量的杂质元素,就会使它的电阻率发生极大的变化。例如,在纯硅中掺入百万分之一的硼元素,其电阻率就会从 $214000\Omega\cdot\text{cm}$ 一下子减小到 $0.4\Omega\cdot\text{cm}$,也就是硅的导电能力提高了 50 多万倍。人们正是通过掺入某些特定的杂质元素,人为地精确地控制半导体的导电能力,制造成不同类型的半导体器件。可以毫不夸张地说,几乎所有的半导体器件,都是用掺有特定杂质的半导体材料制成的。

二、半导体的晶体结构

构成一切物质的基础是原子。按照原子排列形式不同,物质可分为晶体和非晶体两大类。晶体通常都具有规则的几何形状,它内部的原子按照一定的晶格结构有规律地整齐排列着。

而非晶体内部的原子排列则没有规律,显得杂乱无章。

半导体材料硅和锗都是晶体。由化学元素周期表可知,硅和锗都是四价元素,也就是说它们的原子最外层轨道上都有四个价电子。在硅和锗晶体中,正是利用价电子把相邻原子结合起来,形成特定的晶体结构。图 1-1 给出了半导体单晶结构的模型。

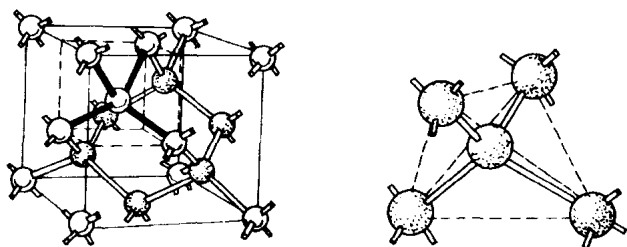


图 1-1 半导体硅的单晶模型

可以看出,每个硅原子位于一个四面体的中心,而四个顶角为另外的四个硅原子所占有。由于硅是四价元素,每一个硅原子的四个价电子分别与最邻近的硅原子的一个价电子结成电子对,这一对价电子便属于两个相邻原子所共有〔图 1-2(a)〕,使每个原子的外层电子都填满到 8 个〔图 1-2(b)〕,形成比较稳固的结构。

在晶体中相邻原子的距离很近,价电子不仅受到所属原子核的作用,而且还受到相邻原子核的吸引。两个共用的价电子,使两个硅原子间产生了一种束缚力,就像链条一样把两个原子互相拉住,不易分开。以这种方式结合起来的作用力,称为共价键〔图 1-2(b)〕。

纯净的不含有任何杂质的半导体,称为本征半导体。在本征半导体中,所有原子的价电子都参加了共价键的结合,没有自

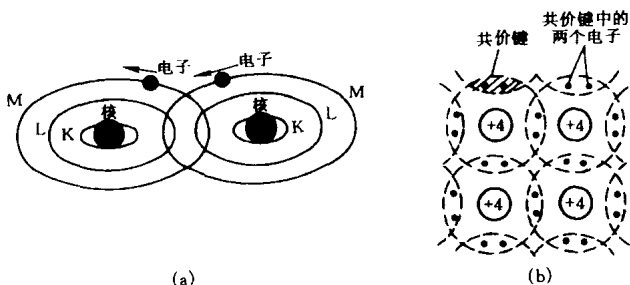


图 1-2 硅单晶的平面模型

由电子,这种晶体称为“理想晶体”。实际上,只有在热力学零度 (-273.16°C) 时,才会获得这种理想晶体。

在常温下,共价键上的电子都处于热运动状态,这种热运动的结果使共价键中个别电子在常温下获得足够的能量,从共价键上挣脱出来,变成自由电子。这些自由电子在结晶格子内自由自在地运动。温度越高,热运动的能量越大,激发出来的自由电子越多。在电场力的作用下,自由电子就会朝一定方向做漂移运动,形成半导体中的电子电流。受共价键束缚的电子激发成为自由电子的过程,叫做本征激发。

值得注意的是,个别电子离开共价键后,不会破坏晶体结构。当有一个束缚电子从共价键上跳脱出来时,原来所在的共价键上就会留下一个电子的空位,称为“空穴”,如图 1-3 所示。

空穴的出现,意味着空穴所在地方的硅原子失去了一个价电子,原来是电中性的硅原子由于负电荷的减少而变成带正电的正离子。空穴在哪里出现,哪里就产生正离子,空

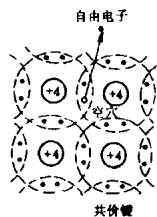


图 1-3 空穴的产生

穴成了正离子的象征。为研究方便,就把空穴作为正电荷来看待。有趣的是,某一个共价键上出现了空穴时,由于热运动,邻近共价键上的电子就可能跳过来填补它,使空穴转移到邻近的共价键上去。这种物理过程不断地重复着,空穴在共价键上不停地转移。因此,空穴这种特殊的正电荷如同自由电子一样,可以在晶格上自由自在地运动。在电场力的作用下,空穴将朝一定方向进行漂移运动,形成半导体中的空穴电流。

在本征半导体中,由于热激发,自由电子和空穴是成对出现的。自由电子和空穴在晶体内自由运动时,又可能相遇,电子“掉进”空穴中,二者重新结合而同时消失,这个过程叫“复合”,复合时释放出能量,再产生新的电子-空穴对。在一定温度下,电子-空穴对复合的速率等于产生的速率,使本征半导体中电子和空穴的浓度保持一定。温度升高后,热激发的能量增加,电子-空穴对产生的速率增高,使本征半导体中电子-空穴对的浓度增大。在半导体中,自由电子和空穴都是运载电流的粒子,它们统称为载流子。

三、两种不同导电类型的半导体——N型和P型半导体

在常温下,虽然本征半导体中存在着由热激发产生的电子和空穴两种载流子,但它们的浓度比金属导体中自由电子的浓度要低100亿倍左右,导电性能太差,而且载流子的浓度又与温度有密切的关系,所以不能直接用来制作半导体器件。用来制作半导体器件的是两类掺有特定杂质元素的半导体,即N型和P型半导体。

1. N型半导体(电子型半导体)

在纯净的半导体材料(本征半导体)硅或锗中掺入极微量的五价元素(例如在 10^8 个硅或锗的原子中掺入1个杂质原子),如

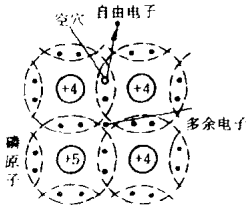


图 1-4 N型半导体

磷、锑、砷等。因为五价元素的浓度很小,不难想象,杂质原子将被晶格中的主原子(硅或锗)所包围,如图 1-4 所示。由于五价元素原子外层有五个价电子,当其中四个价电子和最邻近的四个硅(或锗)原子的一个价电子形成共价键时,第五个价电子不能形成共价键而变成自由电子。这样,掺入五

价元素的半导体就具有较多的自由电子,由杂质提供的自由电子的浓度远远超过由于热激发所产生的电子-空穴对的浓度,成为以电子导电为主的半导体,称为 N 型半导体。在 N 型半导体中,电子叫多数载流子,空穴叫少数载流子。

2. P 型半导体(空穴型半导体)

如果在本征半导体中掺入极微量的三价元素,如硼、镓、铟或铝。由于这类杂质元素的原子外层只有三个价电子,它和四个相邻原子的价电子结成共价键时,缺少一个价电子,使共价键上出现一个电子的空位,如图 1-5 所示。由于热运动,邻近共价键上的电子会跳到这个空位中来,使邻近的共价键上产生了空穴。这样,掺入三价元素的半导体就具有较多的空穴,由杂质提供的空穴的浓度远远超过由于热激发所产生的电子-空穴对的浓度,成为以空穴导电为主的

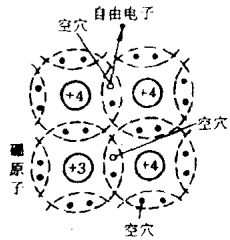


图 1-5 P 型
半导体

的半导体,称为 P 型半导体。在 P 型半导体中,空穴叫多数载流子,电子叫少数载流子。

第二节 半导体器件的核心——PN 结

上一节介绍了两种不同导电类型的半导体,即 P 型半导体和 N 型半导体。在制作半导体器件时,都是将 P 型和 N 型半导体有机地结合起来,它们的核心就是这一节所要介绍的 PN 结。

一、什么是 PN 结

如果在一块本征半导体上,通过特殊的“扩散”工艺,使它的一半掺入 P 型杂质,而另一半掺入 N 型杂质,如图 1-6 所示,那么在 P 型区和 N 型区的交界面处,就会形成一个具有特殊导电性能的薄层,称为 PN 结。

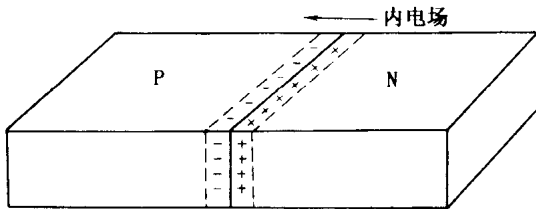


图 1-6 PN 结

大家知道,P 型半导体中空穴是多数载流子,N 型半导体中电子是多数载流子,在这两种半导体交界面两边存在着空穴和电子两种载流子的浓度差。正如自然界中的扩散现象一样,在 N 型半导体里占绝对优势的自由电子会越过“边界”,向只有极少数自由电子的 P 型半导体里扩散。这种扩散是从靠近交界面的地方开始进行的,N 区靠近交界面处由于失去了电子,留下相应数量的正离子。同样,在 P 型半导体里占绝对优势的空穴,也会越过“边界”向空穴浓度极低的 N 型半导体中扩散。P 区靠近