

初中教师进修用书

无线电基础

任德官 江伟丰 赵建民



浙江教育出版社

封面设计 王传东
责任编辑 楼克恭

初中教师进修用书

无线电基础

任德官 江伟丰 赵建民

出版：浙江教育出版社

印刷：浙江新华印刷厂

发行：浙江省新华书店


开本787×1092 1/32 印张20 字数441,000

1984年12月第一版

1984年12月第一次印刷

印数：00,001—24,300

统一书号：7346·155 定价：2.35元



出版说明

《初中教师进修用书》是为了适应培训教师的需要，由华东地区上海、山东、江苏、安徽、浙江、江西、福建等六省一市八家出版社协作组织编写出版的。目的是供在职初中教师业余进修，帮助他们系统地学习和掌握有关专业的基础理论、基本知识和基本技能，提高文化水平和教学能力，以便在一定时间内通过考核达到两年制高等师范专科毕业水平。

这套用书，共有语文、数学、政治、历史、地理、物理、化学、生物八个专业，六十六种。编写当中，在坚持四项基本原则，坚持思想性和科学性相统一的前提下，注意了以下几个方面：

一、根据教育部制订的高等师范专科学校教学大纲的要求，确定各册内容的深度和广度，既体现各学科知识的系统性，又力求做到简明、精练，避免繁琐。

二、以提高教师科学文化水平为主，适当联系中学教材和教学实际，把提高知识水平和提高教学能力有机地结合起来，达到学以致用目的。

三、从初中教师的实际水平出发，循序渐进，逐步提高要求；重视讲清学习中的难点和疑点，文字力求浅显易懂；并根据自学或函授的需要，配置必要的提示、注释、

思考题和提供参考书目等学习辅助材料。

协作编写教师进修用书，尚属初次尝试。我们将在实践过程中广泛听取读者的意见和建议，努力提高书籍质量。

这套用书除供初中教师自学进修外，也可供其他同等文化程度同志使用。

前 言

本书是参照高等师范专科学校电子技术基础教学大纲编写的,共分七章。内容有:半导体器件的基础知识,基本放大电路,负反馈放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,无线电接收设备基础,脉冲与数字电路简介。每章后面附有实验和一定数量的习题与思考题。

考虑到目前实际情况,我们在内容安排方面确定以分立元件为主,集成元件为辅;单元电路为主,整机电路为辅的编写原则。力图加强单元电路的基本原理和基本分析方法的介绍,并注意到单元电路与整机电路的联系。为了便于自学,书中有较多的计算例题可供参考,有收、扩音机的整机电路可供阅读。通过自学,可以掌握单元电路的工作原理以及电路元件选择的原则,对整机电路具有一定的读图能力。

本书由任德官主编。第一、二、三、四、七章由任德官编写,第五、六章由江伟丰编写,赵建民选编了全书的习题与实验,最后由任德官负责统稿。

在定稿过程中,曾请浙江大学电子学教研室主任郑元跃审稿。他仔细阅读了全稿,指出不妥之处,同时提出了改进意见。谨在此表示衷心感谢。

本书的插图由兰溪电大83届学员郑益民、陈健、唐学栋描绘,在此一并致谢。

本书供在职初中教师业余进修用，也可作为教师进修学院和高等师范专科学校电子技术基础的教材。

由于我们水平有限，编写时间仓促，书中一定有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者于浙江师院

一九八四年二月

目 录

第一章 半导体二极管及其特性	1
第一节 半导体物理特性	1
一、概述	1
二、本征半导体的导电机理	2
三、掺杂半导体的导电特性	4
第二节 PN 结物理特性	6
一、PN 结的形成	6
二、PN 结的导电性能	8
三、PN 结电容效应	13
四、晶体二极管结构	15
第三节 二极管主要参数及其等效电路	16
一、主要参数	16
二、等效电路	17
实验, 习题与思考题	21
第二章 晶体管放大电路基础	27
第一节 晶体三极管	27
一、晶体三极管结构	27
二、晶体三极管的工作原理	28
三、三极管特性曲线及其等效电路	35
四、三极管主要参数	48
第二节 基本放大器	51
一、放大电路的组成	51
二、放大电路工作原理	52

三、放大器的性能指标	55
四、放大器分类	58
第三节 放大器的分析方法	59
一、概述	59
二、图解法	59
三、等效电路法	69
第四节 放大电路工作点的稳定与偏置电路	72
一、工作点不稳定的原因	72
二、稳定静态工作点的方法	73
三、偏置电路的工程设计	80
第五节 放大电路的三种基本接法	82
一、共基极电路	82
二、共集电极电路	84
第六节 单级阻容耦合放大器的频率特性	86
一、概述	86
二、低频特性	89
三、高频特性	90
四、放大电路频率特性曲线	92
五、小结	92
六、例题	93
第七节 单级放大器设计举例	95
第八节 多级放大器	99
一、概述	99
二、放大器级间耦合电路的类型	100
三、多级放大器参数的计算	103
四、多级放大器设计原则	110
第九节 功率放大器	114
一、概述	114

二、单级共射极阻容耦合放大电路的输出功率	118
三、变压器耦合单管放大电路	122
四、变压器耦合推挽放大电路	125
五、无输入输出变压器的乙类推挽电路	133
六、实际电路分析	141
第十节 晶体管扩音机整机电路分析举例	147
一、工作原理	150
二、喇叭配接原则	153
实验, 习题与思考题	156
第三章 负反馈放大器	175
第一节 反馈的一般概念	175
一、什么叫反馈	175
二、负反馈电路型式	176
三、负反馈电路增益的一般表达式	183
第二节 负反馈对放大器性能的影响	189
一、提高放大倍数的稳定性	189
二、对输入阻抗的影响	190
三、对输出阻抗的影响	193
四、对频率特性的影响	197
五、对非线性失真的影响	199
第三节 负反馈放大器的分析方法	202
一、分析步骤	202
二、分析举例	208
实验, 习题与思考题	217
第四章 集成运算放大器	237
第一节 直流放大器	237
一、耦合方式	238
二、直流放大器的特殊问题——零点漂移	242

第二节 差分放大器	246
一、电路工作原理	246
二、差分放大电路的分析	250
三、其他形式的差放电路	269
四、差分放大电路输入动态范围的讨论	274
第三节 集成运算放大器	277
一、概述	277
二、运算放大器线路分析	279
三、集成运放主要参数	287
四、运算放大器的闭环特性	290
五、集成运算放大器的应用举例	299
实验, 习题与思考题	309
第五章 直流稳压电源	324
第一节 整流电路	324
一、半波整流	325
二、全波整流	328
三、桥式整流	330
第二节 接有滤波电路的整流电路	332
一、具有电容滤波器的整流电路	332
二、具有电感滤波器的整流电路	340
三、复式滤波器的整流电路	344
四、各种滤波器的性能比较	346
第三节 稳压电路	346
一、稳压二极管	346
二、并联稳压电路	349
三、串联稳压电路	352
四、具有辅助电源的稳压电路分析	357
实验, 习题与思考题	360

第六章 无线电接收设备基础	369
第一节 概论	369
一、无线电通讯的基本原理	369
二、调制原理	371
三、电磁波传播简介	375
第二节 调谐放大器	382
一、调谐回路	382
二、调谐放大器	402
第三节 检波器	421
一、小信号检波	422
二、大信号检波	425
三、鉴频器简介	427
第四节 变频器	435
一、 <i>LC</i> 振荡器	437
二、变频器的工作原理	458
第五节 晶体管超外差式收音机分析	471
一、框图	471
二、自动增益控制	474
三、统调原理	476
实验, 习题与思考题	479
第七章 脉冲数字电路简介	491
第一节 概述	491
第二节 <i>RC</i> 电路	497
一、 <i>RC</i> 电路充放电过程	497
二、单一 <i>RC</i> 电路对阶跃信号的过渡过程表达式	501
三、 <i>RC</i> 电路的应用	504
第三节 晶体管开关特性	509
一、理想的开关特性	509

二、二极管开关特性	510
三、三极管开关特性	511
第四节 限幅和钳位	513
一、限幅器	513
二、钳位器	520
第五节 双稳触发器	523
一、电路工作原理	523
二、稳定状态条件	525
三、触发方式	528
第六节 单稳触发器	533
一、概述	533
二、工作原理	534
三、输出脉冲宽度的确定	538
第七节 自激多谐振荡器	538
一、概述	538
二、工作原理	539
三、多谐振荡器的同步	543
第八节 集成数字电路简介	544
一、基本逻辑关系	544
二、逻辑代数简介	561
三、数制和数码	572
四、组合电路	577
五、组合电路应用举例——用七段荧光数码管显示十进制数	587
六、触发器	591
附录 密勒定理	603
实验, 习题与思考题	605

第一章 半导体二极管及其特性

第一节 半导体物理特性

一、概述

物质就其导电性能可分为导体、绝缘体、半导体。导体的电阻率很小，如银、铜、铝、铁电阻率约为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 欧姆·厘米。绝缘体电阻率很高，如玻璃、塑料、橡胶、陶瓷的电阻率都大于 10^9 欧姆·厘米。半导体的电阻率介于两者之间，如常用的半导体材料硅的电阻率约为 2.14×10^5 欧姆·厘米，约为铜的一千亿倍！

半导体导电性能具有下列两个显著的特点：

①半导体的电阻率随温度、光照度而变化。例如温度每升高 1°C 电阻率下降 $3 \sim 6\%$ ，而铜电阻率当温度升高 100°C ，只增加 4% 。而且半导体电阻率的温度系数是负的。又如一个沉积在绝缘基板上的硫化镉（半导体）薄膜，其暗电阻为几十兆欧，亮电阻可下降到几十千欧，阻值变化上千倍。

②半导体的电阻率与所含微量杂质浓度有很大关系。如在纯硅中掺入百万分之一的杂质（如掺入硼），其电阻率从 2.14×10^5 欧姆·厘米降为 0.4 欧姆·厘米，下降了 50 万倍！然而，金属即使含杂质高达千分之一也无多大影响，如纯铜与黄铜的电阻率只相差 $3 \sim 4$ 倍。

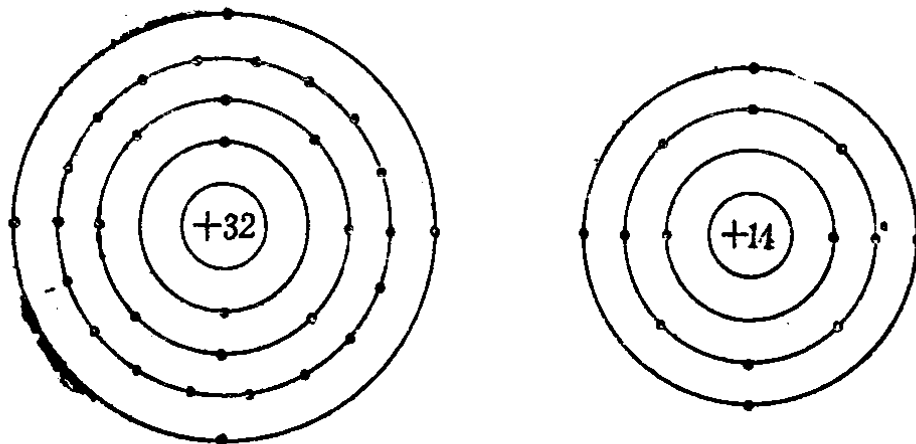
由于半导体具有上述特性，所以被广泛用来作为制造半导体二极管、半导体三极管、光敏器件、热敏器件、气敏器件、力敏器件、磁敏器件等等元器件的材料。

在自然界中虽然有许多元素和化合物是半导体，而目前用来制造二极管、三极管和集成电路的主要材料是硅、锗、砷化镓。

二、本征半导体的导电机理

本征半导体就是纯净半导体。半导体的导电特性完全决定于物质的原子结构。众所周知，原子由带正电的原子核与带等量负电的电子组成，但整个原子呈电中性。电子是分层绕核作旋转运动，每层轨道分布的电子数为 $2n^2$ (n 为轨道层数)，在内层的电子受原子核吸力较大，在外层的电子受原子核的吸力较小。一个元素的化学性质和物理性质由最外层的电子数决定，我们称最外层的电子为价电子。因此我们可以从研究价电子的运动状态来着手剖析半导体的导电机理。

下面我们以常用的半导体材料硅（或锗）为例，来说明其原子结构与导电性能的关系。



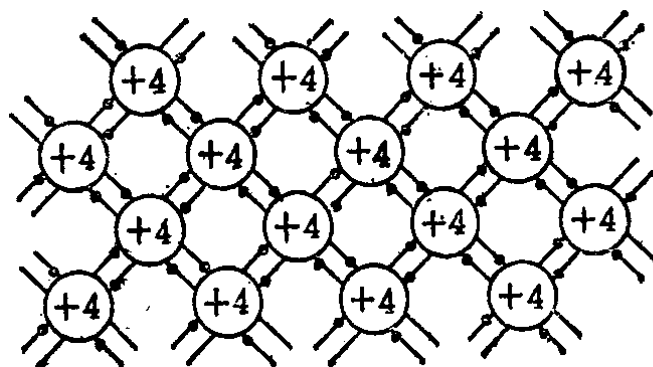
(a) 锗

(b) 硅

图 1-1 锗和硅原子结构示意图

硅（锗）是晶体结构。我们知道，晶体可分为多晶和单晶，多晶的原子排列是杂乱无章的，单晶的原子排列非常整齐，且原子间的距离也都相等。制作晶体管的材料多用单晶结构，所以半导体二极管、三极管也称为晶体二极管、三极管。图 1-1 (a) 和 (b) 分别为锗和硅的原子结构示意图。

图 1-2 为硅（锗）单晶结构平面示意图。从图中可知，在硅（锗）晶体中，每个硅（锗）原子近邻均有四个硅（锗）原子。每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核束缚，还与其相



◆表示共价键电子
⊕表示剩余电荷为+4的原子实

图 1-2 本征半导体硅（锗）晶体结构平面示意图

邻的 4 个原子相联结。两个相邻原子间有一对共有电子，即在电子对中的任一个电子一方面绕自身原子核运动，另一方面也时常出现在相邻的原子所属的轨道上。这种结构我们称为共价键结构。

如果共价键中的电子获得足够能量，则可摆脱共价键的束缚而成为自由电子。此时，这电子原来所在的共价键位置上就留下一个空位（这里缺少一个电子而呈现正电中心），因此邻近键上的电子随时都可能被吸引过来填补这个空位，从而使空位转移到邻近的共价键上去，所以这个带正电的空位也在移动。这种可自由移动的带正电的空位称为“空穴”。半导体就是靠着电子和空穴的移动来导电的，故称电子和空穴为载流子。可见本征半导体电子和空穴是成对出现

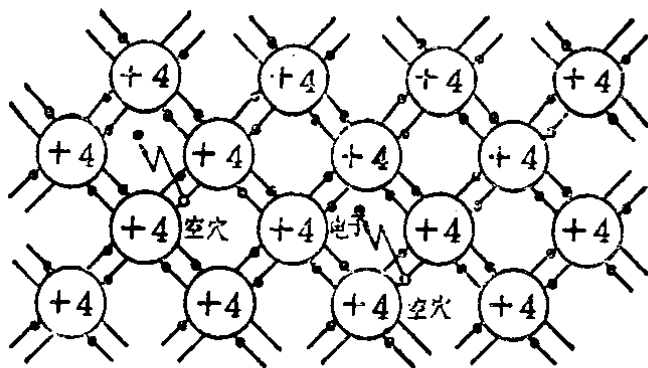


图 1-3 本征半导体热激发产生电子-空穴对

的,统称为电子-空穴对,如图 1-3 所示。

电子摆脱共价键所需要的能量,可以来自外界的光照、磁场,也可以来自晶体管内部热运动。光照的频率

越高,磁场越强,温度越高,那么被激发出的电子空穴对越多,电阻率就越低。然而,在常温情况下,本征硅(锗)半导体由热激发形成的电子空穴对很少,故电阻率较高。

半导体中产生的电子空穴在不停作热运动,它有如下两个特点:

①被激发而产生的电子空穴对,在热运动中这个自由电子也会与空穴相碰而成对消失,这个逆过程称为“复合”。所以“复合”和“激发”在半导体中是同时存在的,在温度恒定的情况下两者始终处于动平衡状态,只是温度越高处于平衡状态下的电子空穴对的浓度越大。

②由于电子和空穴的热运动是杂乱无章的,所以就整体而言无电流效应。

三、掺杂半导体的导电特性

常温下硅(锗)的导电性能主要决定于杂质浓度。如在一定条件下硅中掺入五价元素的杂质(如磷、砷、锑、铋等),那么,这五价元素的杂质原子替代了硅晶体中一部分原子的位置,如图 1-4 所示。这样杂质原子的五个价电子

中，有四个与周围相邻四个硅原子中的价电子组成共价键，形成最外层为8个电子的稳定结构，而剩下的一个，五价原子核对它束缚力很小（与共价键束缚力相比），

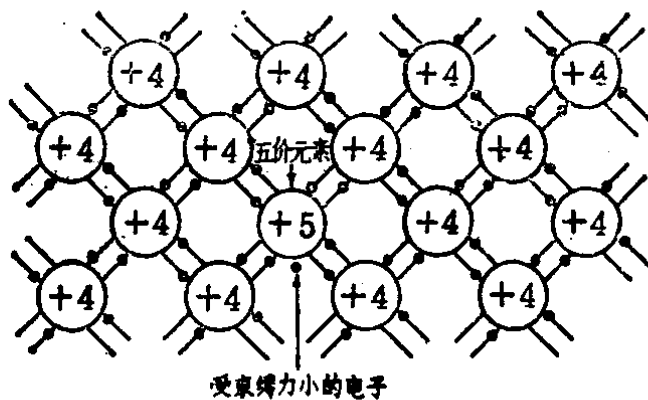


图 1-4 掺有五价元素杂质的硅原子结构

在常温下就很容易激发为自由电子。这些自由电子在外电场作用下形成电子导电。所以一个五价杂质的原子可以向半导体硅（锗）提供一个自由电子，而本身成为带正电的正离子（就整体而言仍为电中性），通常称这种杂质为施主杂质。值得注意的是，掺入的施主杂质，这时贡献一个电子（载流子）而带正电，但它不是空穴，因为它最外层仍满足八个电子的稳定结构。这种靠电子导电的半导体叫做N型半导体。

如果在硅中掺入三价元素杂质（如硼、铝、镓、铟），这些三价元素杂质的原子就代替了一部分硅（锗）原子的位置，

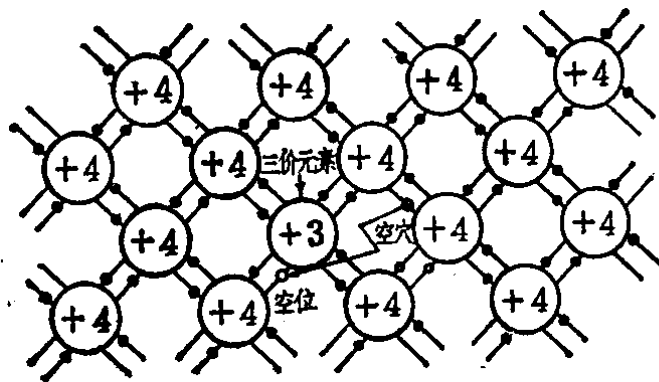


图 1-5 掺有三价元素杂质的硅原子结构

如图 1-5 所示。杂质原子中的三个价电子和周围相邻的四个硅原子中的价电子形成共价键而产生一个缺位。这样，邻近共价键中的价电子，

很容易在常温下进入这一缺位，而在原来所处的共价键位置