

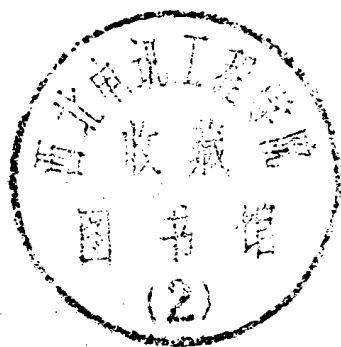
半导体超外差式收音机



山东人民出版社

半导体超外差式收音机

王 红 崔 波 编写



山东人民出版社

半导体超外差式收音机

王 红 崔 波编写

*

山东人民出版社出版

山东新华印刷厂印刷

山东省新华书店发行

*

1973年5月第1版 1973年5月第1次印刷

印数：1—150,000

统一书号：15099·07 定价：0.74元

毛 主 席 语 录

努力办好广播，为全中国人民
和全世界人民服务。

前 言

半导体收音机具有体积小、重量轻、耗电省、便于携带等优点，深受广大工农兵群众的欢迎。为了普及当前广泛使用的半导体超外差式收音机的技术知识，特编写了这本小册子。本书在选材上力求简洁、系统，在叙述上力求深入浅出，通俗易懂，理论联系实际。

本书初稿写成后，承蒙山东科技大学电子系冯传海等同志予以审阅，提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者受政治水平和业务水平的限制，书中可能有不少缺点和错误。另外，目前半导体技术的发展，正处在日新月异的阶段，本书对新技术的反映也是很不够的。热诚地希望广大工农兵和读者予以批评指正。

编 者

一九七二年十二月

目 录

前 言

第一章 半导体管及其放大器的工作原理	1
1.1 半导体管的工作原理	1
1.2 半导体三极管的三种放大电路	16
1.3 半导体管的伏—安特性及参数	20
1.4 半导体管放大器的工作原理	34
1.5 放大器的直流工作点和偏置电路	38
1.6 放大器的耦合与匹配	50
1.7 放大器中的负反馈	60
第二章 半导体超外差式收音机基本电路	65
2.1 概 述	65
2.2 输入电路	70
2.3 本机振荡电路	83
2.4 变频器与混频器	92
2.5 中频放大器	107
2.6 检波器	124
2.7 低频前置放大器	136
2.8 功率放大器	139
第三章 半导体外差机的附加电路	152
3.1 负反馈电路	152
3.2 自动音量控制电路	156

3.3	音调控制电路	162
3.4	功率放大器的温度补偿电路	164
3.5	电源滤波电路	167
3.6	半导体外差机的电路程式	169
3.7	怎样看懂收音机电路图	170
第四章 半导体外差机元件		178
4.1	磁性天线	178
4.2	中频变压器和振荡线圈	181
4.3	输入、输出变压器	190
4.4	扬声器和耳机	199
4.5	电容器	201
4.6	电阻器	208
4.7	电 池	210
4.8	怎样选用半导体管	211
第五章 整机设计和制作方法		215
5.1	整机设计的方法和步骤	215
5.2	安装设计	220
5.3	半导体收音机的结构	221
5.4	制作方法	223
第六章 制作实验		227
6.1	简易半导体二、三管外差机制作	227
6.2	实验四管外差机制作	235
6.3	低中频五管外差机制作	235
6.4	袖珍式标准六管外差机制作	241
6.5	设计参考电路	244

第七章	半导体外差机的调整	267
7.1	调整前的准备工作	267
7.2	工作点的调整	268
7.3	通电试验	271
7.4	中放级的调整	273
7.5	变频级的调整	274
7.6	低频放大器的调整	278
第八章	半导体外差机的检修	281
8.1	检修的一般知识	281
8.2	完全无声	284
8.3	灵敏度低落	287
8.4	选择性变坏	288
8.5	啸叫声	289
8.6	噪 声	291
8.7	失 真	292
附录一	无线电技术中常用的单位、 文字代号及符号	294
附录二	常用半导体管参数	298

第一章 半导体管及其放大器 的工作原理

广义地说，用半导体管作为放大元件的收音机叫做半导体收音机。一部收音机主要是一系列放大器按照一定方式的组合。要掌握制作收音机的技术，首先要了解半导体管及其放大器的工作原理。

1.1 半导体管的工作原理

1.1.1 什么是半导体

从导电性能来看，自然界存在的各种物质（单元素及各种化合物）可以分成三大类，即导体、绝缘体和半导体。半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间，它既不能良好地导电又不能良好地绝缘，因此在相当长的时间内未被重用。随着科学技术的发展，人们了解到半导体材料有许多独特的“性格”，例如半导体的导电能力对温度、光线以及某种特定物质的含量有密切关系。半导体管就是利用这些特性制造出来的。

毛主席教导我们：“每一物质的运动形式所具有的特殊的本质，为它自己的特殊的矛盾所规定。”半导体材料所以具有这些特殊的本质，其原因就在于它有着不同于导体或绝缘体的原子结构和结晶状态。锗是典型的半导体材料，目前收音

机中用的半导体管大多数是用锗制造的，下面即以锗为例说明半导体管是如何形成和怎样工作的。

锗 (Ge) 是晶体元素，它的原子是按照一定规则整齐地排列着组成锗晶粒。天然的锗中，晶粒的排列是极不规则的，通常称这种锗为“多晶锗”。制做半导体管的锗必须是经过精炼提纯的“单晶锗”，所谓“单晶锗”就是指锗中的每一晶粒都整齐地排列着的锗晶体。

图1.1 为锗原子的构造。在它的原子核周围有32个电子组成四个环，围绕原子核运动。锗原子的最外层有四个电子称为“价电子”，这四个价电子处于不稳定状态，是有可能脱离原子核成为“自由电子”的。但在一般情况下锗晶体中的原子均以四个价电子与另外四个锗原

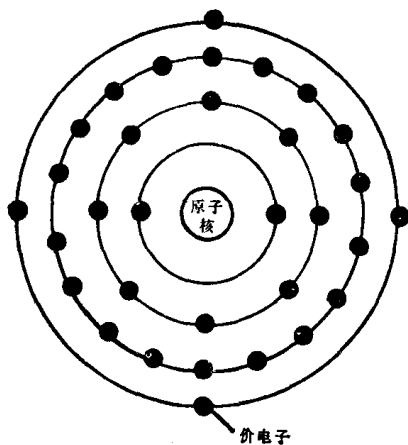


图1.1

子的价电子组成“共价键”，形成整齐的晶体点阵而达到稳定状态，因此这些价电子不能自由运动。但是由于热运动的影响，在共价键中的少数高能电子有可能挣脱共价键的束缚跳出来成为自由电子，同时在原来共价键的位置上留下了一个可以拘捕电子的空穴（图1.2）。电子和空穴是成对出现的，电子带负电，空穴带正电。此时如果外加一个电场，自由电子将在外电场作用下流向电源正极，这种现象称为“本征导

电”。在常温下热运动造成的自由电子和空穴的数量是很少的，所以“本征导电”的电流很小。温度愈高，锗晶体中因热运动造成的自由电子和空穴愈多，本征导电的电流也愈大。这就是锗具有半导体性能的原因。本征导电只与温度有关，而与外电场无关。

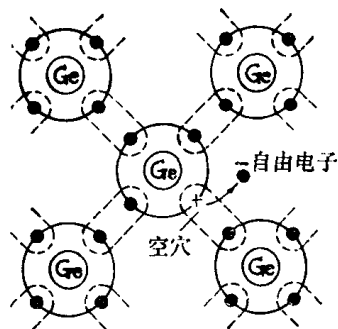


图1·2

要想提高半导体的导电能力，就必须设法增加半导体中的自由电子或空穴的数量。这个目的可用在半导体中掺入某种适量的“杂质”来达到。不过这里所说的“杂质”必须是经过严格选定的，能达到我们预期目的的那种“杂质”，绝不是半导体材料中天然存在的那些杂质。后者不仅无用而且还会严重妨碍半导体材料的性能。

如果在纯净的锗晶体中，掺入砷 (As)、锑 (Sb) 等五价元素，因五价元素最外层有五个价电子，所以其中只能有四个价电子与相邻的四个锗原子组成共价键。另一个价电子被排斥在共价键之外，因而不受共价键的束缚，在常温下就可以脱离原子核而成为自由电子 (图1·3)。如果在这种锗晶体上加一个外电场，锗晶体

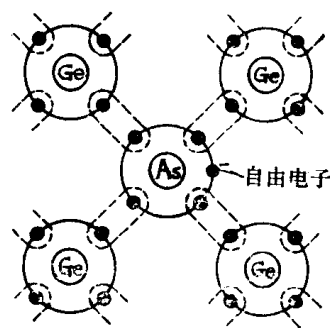


图1·3

中的自由电子就会逆电场方向运动形成电流。因为电流是由电子形成的,所以称为“电子导电”,这种锗晶体称为“电子导电型锗晶体”,简称“ N 型锗”。在 N 型锗中,除了因加入五价元素形成的自由电子以外,也有因热运动造成的少数自由电子和少数空穴。显然在 N 型锗中自由电子是多数,空穴是少数,所以电子为“多数载流子”,空穴为“少数载流子”。在外电场作用下,少数载流子与电子的运动方向相反,流向电源的负极。

如果在纯净的锗晶体中,掺入铟(In)、镓(Ga)等三价元素,则因三价元素最外层只有三个价电子,所以在铟与其他四个锗原子组成的共价键

中,因缺少一个电子而出现空穴(图1.4)。如果在这样的锗晶体上加一个外电场,那么锗晶体中的空穴将顺电场方向运动。我们称这种导电为“空穴导电”,称这种锗晶体为“空穴导电型锗晶体”,简称“ P 型锗”。同样,在 P 型锗中也有因热运动造成的少量自由电子和少量空穴。而在 P 型锗中空穴是多数,自由电子是少数,所以空穴为“多数载流子”,自由电子为“少数载流子”。在外电场作用下, P 型锗中的少数载流子逆电场方向运动流向电源的正极。

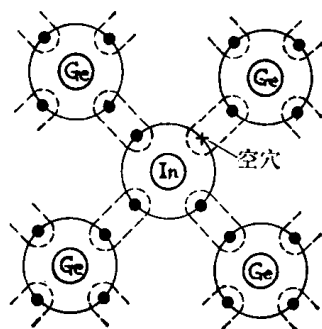


图1.4

同样,在 P 型锗中也有因热运动造成的少量自由电子和少量空穴。而在 P 型锗中空穴是多数,自由电子是少数,所以空穴为“多数载流子”,自由电子为“少数载流子”。在外电场作用下, P 型锗中的少数载流子逆电场方向运动流向电源的正极。

锗掺入“杂质”以后,不论是在 N 型锗还是在 P 型锗中,均打破了未掺入“杂质”前空穴和自由电子成对出现的特点,

它们的导电性能主要地由其中的多数载流子决定。这一点是十分重要的，因为只有多数载流子才是构成半导体管所需要的，少数载流子只能起破坏作用。

显然，掺入“杂质”的数量，与在锗晶体中形成的自由电子或空穴的数量是密切相关的。掺入“杂质”多，在锗晶体中出现的自由电子或空穴也愈多，导电能力就愈强。掺入“杂质”的数量，在很大程度上决定着半导体的电学性能。在实际生产中，必须根据不同的需要，对掺入“杂质”的数量进行严格的控制。

1.1.2 $P-N$ 结和半导体二极管

P 型和 N 型半导体由于具有不同的矛盾运动，构成了不同的“个性”。若将它们用一定的工艺方法结合在一起，让“旧的统一和组成此统一的对立成份让位于新的统一和组成此统一的对立成份，于是新过程就代替旧过程而发生。”这个新过程就是 $P-N$ 结。

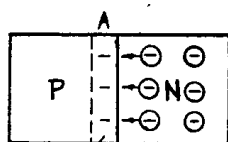
前面说过，在 P 型半导体中空穴是多数载流子，在 N 型半导体中电子是多数载流子。这个矛盾着的双方“各以和它对立着的方面为自己存在的前提”，同时又“依据一定的条件，各向着其相反的方面转化”。当 P 型和 N 型半导体结合在一起之后，由于热运动的存在就具备了这种转化条件。由于热运动的扩散作用， N 区中的多数载流子——电子，将越过结合面跑向 P 区，在 P 区靠近结合面附近的薄层 A 将因获得电子而带负电^①。同样 P 区中的空穴也会越过结合面跑向 N 区；

注1： P 型和 N 型半导体中虽然存有空穴和自由电子，但这只是它们内部的位置变更造成的，所以 P 型和 N 型半导体均不带电。当 N 区的电子进入 P 区后， P 区因获得额外电子所以带负电，同理如 N 区获得额外空穴时将带正电。

而使 N 区靠近结合面附近的薄层 B 因获得空穴而带正电^①。扩散的结果,在 P 区和 N 区的结合面 A 、 B 之间将形成一个由 N 区指向 P 区的电场。这个电场正好阻止了 P 区和 N 区中多数载流子的继续扩散,所以称它为

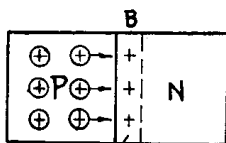
“拒斥电场”。随着扩散作用的进行, A 、 B 两层的厚度逐渐增加,拒斥电场也愈来愈强。最后终于使扩散作用被迫停止下来而达到动平衡状态(实际上扩散作用是不会停止的,但因拒斥电场的存在,使 P 区电子反向,向 N 区流动,当两者数量相等时表面上达到平衡,所以称动平衡)。这时 A 、 B 两层的厚度也固定下来了。我们称 P 区和 N 区存在拒斥电场的薄层 S 为阻挡层,亦即 $P-N$ 结(图1.5)。

如果在这样的半导体上加上一个 P 区正、 N 区负的电场(图1.6.a),则因外电场的方向与 $P-N$ 结拒斥电场的方向相反,拒斥电场被削弱,阻挡层减薄。这时外电场的方向正好有利于 P 区和 N 区中多数载流子的扩散, P 区中的空穴将可越



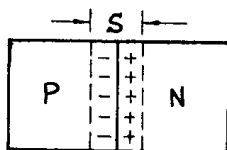
P区获得电子带负电

(a) 电子的扩散



N区获得空穴带正电

(b) 空穴的扩散



拒斥电场方向

(c) $P-N$ 结

图1.5

注1: 扩散作用只限于 P 区和 N 区中的多数载流子, 这是因为两者之间多数载流子的浓度(数量)相差甚大。这正如两种不同的气体在界面处互相扩散的道理相似。

实际上参与扩散运动的只是自由电子, N 区的电子跑向 P 区以后, N 区靠近结合面处的薄层因失去电子而出现空穴,相对地说来可以认为是 P 区的空穴跑到 N 区来了。这种说法仅仅是为了便于叙述和理解,下面在讲原理时,仍用这种说法。

过 $P-N$ 结向 N 区前进，并被电源吸收形成电流 I 。反之，若加一个 P 区负、 N 区正的电场（图1.6.b），则因外电场的方向与拒斥电场相同，拒斥电场加强，阻挡层变厚。这时外电场的方向阻止 P 区和 N 区中多数载流子的扩散，而只有 N 区中的少数载流子——空穴越过阻挡层（这时的电场是帮助少数载流子运动的）形成电流 I' 。因为 I' 是少数载流子电流，所以它的值比多数载流子电流 I 要小得多，且与外电场的大

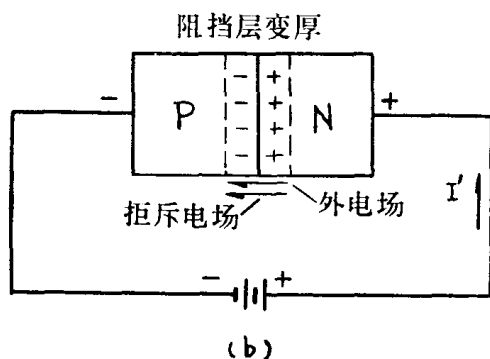
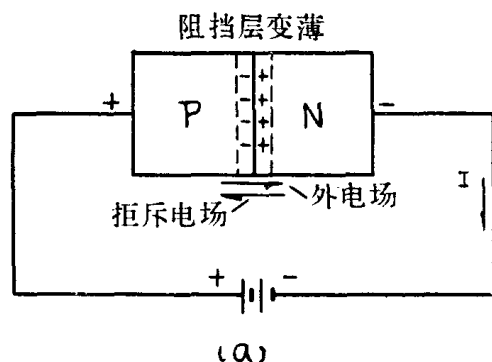


图1.6

小无关。而多数载流子电流随外电场的增强而增大。如果我们把电压作横坐标，电流作纵坐标，可以绘出 $P-N$ 结的伏—安特性曲线。为了叙述方便，我们把与 $P-N$ 结拒斥电场方向相反的电压称做正向电压（ $+V$ ），把与 $P-N$ 结拒斥电场方向相同的电压称做反向电压（ $-V$ ）。同理把前者形成的电流称正向电流（ $+I$ ），把后者形成的电流称反向电流（ $-I$ ）。

图1·7为锗 $P-N$ 结的伏—安特性曲线。从图中可以看出，正向电压升高时，正向电流随正向电压的升高急剧增大。曲线的上部近似为直线，这说明 $P-N$ 结的正向特性在正向电压超过一定值时就基本上服从欧姆定律。从图中还可看出，当 $P-N$ 结加反向电压时，开始一段随电压的升高，反向电流增大，但到一定值以后反向电流就固定下来，曲线基本上成了一条水平线。这是因为反向电流是少数载流子电

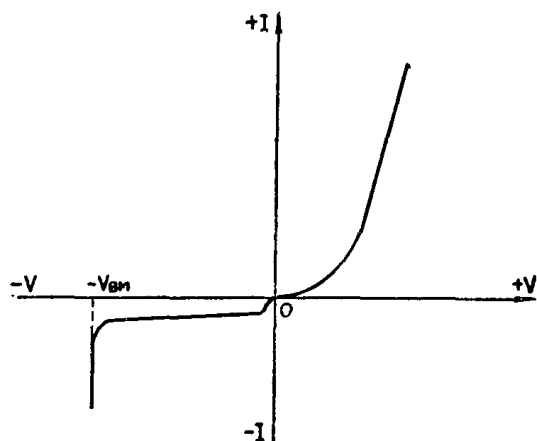


图 1·7

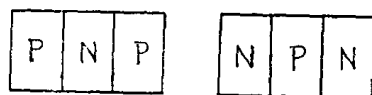
流，当反向电压升高到一定值时，全部少数载流子都参加了导电，所以电流无法再增加了。我们称这个电流为“反向饱和电流”。如果反向电压继续加强，当反向电压达某一数值 $-V_{BM}$ 时，反向电流突然急剧增加，曲线几乎变成陡峭的垂线。这是因为“数量的变化达到了某一个最高点，引起了统一物的分解，发生了性质的变化，所以显出显著地变化的面貌。”事实上这时的 $P-N$ 结已因反向电压太强而被击穿，使它失去了对反向电流的控制作用。

从 $P-N$ 结的伏—安特性曲线中可以清楚地看出，在一定的电压范围内， $P-N$ 结具有良好的单向导电作用。利用 $P-N$ 结的这种作用，可做成供整流或检波用的半导体二极管。

1.1.3 半导体三极管原理

$P-N$ 结没有放大作用，怎样才能使它具有放大作用呢？只要在原来的 $P-N$ 结上再做上一个 $P-N$ 结就成了，这就是半导体三极管。

在原来 $P-N$ 结的 N 区另一端，再加一块 P 型半导体，就形成了两个 $P-N$ 结。也可以在原来的 $P-N$ 结 P 区的另一端再加上一块 N 型半导体，来形成两个 $P-N$ 结（图1.8）。我们称前一种



(a) PNP型 (b) NPN型

图1.8

结构为PNP型，后一种为NPN型。目前国产收音机用半导体三极管多为PNP型，下面即以PNP型为例，说明三极管的工作原理（NPN型的工作原理与PNP型相同，只不过载流子性质不同）。