

怎样修理

晶体管收音机

修订本 顾灿槐 陈达斌 编著 · 人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书重点介绍一般晶体管超外差式收音机的修理，同时也介绍了集成电路收音机、调频调幅晶体管收音机和晶体管再生式收音机的修理。从讲述晶体管的基本知识入手，接着介绍各级电路，并分析电路的工作以及可能发生的故障，详细说明怎样根据故障现象去查找和排除故障。最后介绍了晶体管收音机的调试和一些修理实例。本书可供业余无线电爱好者和修理部门的工人和技术人员阅读。

怎样修理晶体管收音机

(修订本)

顾灿槐 陈达斌 编著

*

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1983年1月北京第二版
印张：11 16/32 页数：184 1983年1月北京第8次印刷
字数：260千字 插页：2 印数：2,592,901—3,117,900册

统一书号：15045·总2008-无604

定价：1.05元

修订版前言

《怎样修理晶体管收音机》一书自1974年10月出版以来，受到了全国广大无线电爱好者和无线电修理部门的工人和技术人员的欢迎。近年来，晶体管收音机的型号和电路都有新的发展，不少读者提出希望本书能增加些新的内容。根据广大读者的要求，我们对本书进行了修订。在修订中，对近几年的晶体管收音机所应用的新器件、新电路，例如场效应晶体管、陶瓷滤波器、音调控制电路等，作了充实和说明，并介绍了相应的维修知识。还增加了较复杂的三波段十二管收音机、集成电路收音机、调频调幅(FM/AM)晶体管收音机及其修理等方面的内容。

在编写本书时，我们力求做到通俗易懂，由浅入深，讲清道理，联系实际。从讲述晶体管的基本知识入手，接着介绍了晶体管收音机的各级电路，分析了各级电路可能发生的故障，然后再讲述怎样根据故障现象去查找和排除故障。先介绍修理晶体管收音机的一般方法，然后通过一些典型收音机的例子来说明如何具体运用这些方法。但是，晶体管收音机电路和遇到的故障是各种各样的，书中介绍的方法和具体步骤只能作为参考。实际修理时，还必须善于对具体情况做具体分析，灵活运用。

为了便于叙述，书中将各种故障现象分成几种类型。但是事实上，许多故障现象常常不是孤立存在的，它们往往相互联系、交错在一起。如“灵敏度低”与“音小”，“失真”与“音小”等。

这时既要抓住主要的故障现象，又要注意到次要的故障现象，这样才能较快地把收音机修好。

我们希望读者通过对本书的学习，能够熟悉晶体管收音机的基本原理，学会分析故障的方法，掌握修理晶体管收音机的基本知识。但书本知识毕竟是间接的东西，要真正学会修理，还必须反复实践，不断总结经验。

本书在第一版发行后，广大读者对本书的支持和鼓励，以及所提的许多宝贵意见，对我们这次修订工作帮助很大，在此特表示衷心感谢。

由于我们的理论水平和实际经验有限，书中可能有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编著者
一九八一年十月

目 录

第一章 晶体管的工作原理	1
一、晶体二极管.....	1
二、晶体三极管的放大作用.....	8
三、晶体三极管的参数.....	14
四、晶体三极管的直流偏置电路.....	18
五、场效应晶体管.....	23
第二章 晶体管的使用常识	38
一、怎样鉴别晶体二极管的好坏.....	38
二、晶体二极管的选用.....	39
三、怎样鉴别晶体三极管的好坏.....	40
四、怎样判别晶体三极管的电极.....	43
五、怎样判别晶体三极管的类型.....	45
六、使用晶体三极管的注意事项.....	47
七、晶体三极管的选用和代换.....	49
第三章 晶体管超外差式收音机概述	53
第四章 变频级电路和故障分析	59
一、变频级电路.....	59
二、变频级故障分析.....	64
第五章 中频放大级电路和故障分析	73
一、中频放大级电路.....	73
二、中频放大级故障分析.....	78
第六章 检波器及自动增益控制电路和故障分析	84

一、检波器电路	84
二、检波器故障分析	85
三、自动增益控制电路	86
四、自动增益控制电路故障分析	89
第七章 前置放大级电路和故障分析	91
一、阻容耦合前置放大级电路	91
二、阻容耦合前置放大级故障分析	92
三、变压器耦合前置放大级电路	97
四、变压器耦合前置放大级故障分析	98
五、来复式放大电路	98
六、来复式放大电路故障分析	100
七、音调控制电路	101
第八章 功率放大级电路和故障分析	104
一、功率放大级电路	104
二、功率放大级故障分析	112
三、并联推挽 OTL 低频功率放大级	117
四、SF 401 (DG4100) 系列集成低频功率放大器	119
第九章 电源电路和故障分析	125
一、电源电路	125
二、电源电路故障分析	133
第十章 晶体管收音机常用元件	137
一、天线	137
二、中频变压器和本机振荡线圈	142
三、陶瓷滤波器	152
四、低频变压器	154
五、电容器	157
六、电阻器	164

七、电位器	166
八、扬声器和耳机	167
九、印刷电路板	170
十、塑料机壳	172
十一、波段开关	173
第十一章 修理晶体管收音机常用工具及仪表	175
一、常用工具	175
二、仪表设备	177
第十二章 几种常用的故障检查方法	185
一、直观检查法	186
二、电源电压、电流检查法	186
三、信号注入法	188
四、各级电压、电流检查法(直流工作状态检查法)	194
五、短路法	194
六、代替法	200
七、信号寻迹法	200
第十三章 怎样根据故障现象来检修超外差式收音机	207
一、无声	207
二、灵敏度低	216
三、音小	219
四、失真	220
五、杂音	222
六、啸叫	224
七、机振	226
八、选择性不良	227
九、汽船声	227
十、调谐失灵	228

第十四章 多波段超外差式收音机的修理	241
一、电路组成与特点.....	241
二、高频部分、中频部分常见的故障.....	242
三、低频部分的故障.....	249
第十五章 集成电路收音机及其修理	256
一、低频放大器集成电路.....	256
二、集成电路低频放大器的故障排除.....	262
三、变频中放集成电路.....	264
四、变频中放集成电路的故障排除.....	268
五、集成发光显示驱动器.....	270
第十六章 调频调幅晶体管收音机及其修理	274
一、调频调幅晶体管收音机的电路结构类型.....	274
二、调频晶体管收音机电路.....	276
三、调频调幅晶体管收音机调频收音部分的故障 排除.....	287
四、调频调幅晶体管收音机的一般故障处理方法.....	295
第十七章 晶体管再生式收音机及其修理	296
一、晶体管再生式收音机电路结构.....	296
二、晶体管再生来复式收音机工作原理.....	297
三、晶体管再生来复式收音机的检修.....	300
第十八章 晶体管收音机的调测	310
一、晶体管超外差式收音机的调整.....	310
二、晶体管再生来复式收音机的调整.....	321
三、晶体管收音机整机主要指标测试.....	324
四、调频晶体管收音机主要指标测试.....	328
五、晶体管收音机修理后需要调试的项目.....	339
六、调频部分的调整.....	340

第十九章 检修实例.....	343
附录 国产晶体管命名法.....	353

第一章 晶体管的工作原理

一、晶体二极管

晶体管是用半导体材料做成的,要了解晶体管的工作原理,首先需要谈谈半导体的特性。

(一) 半导体的特性

我们周围的物质,按照它们导电能力的不同可分为导体、半导体和绝缘体三类,导体的电阻率很小,一般为 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 欧姆·厘米,如铜、铁、铝等金属和它们的合金就属于这一类,绝缘体的电阻率很大,一般为 $10^8 \sim 10^{20}$ 欧姆·厘米,如橡胶、胶木、玻璃等。顾名思义,半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物质,其电阻率一般为 $10^{-3} \sim 10^8$ 欧姆·厘米,如元素中的锗、硅、硒等以及它们的化合物,

除了导电能力不同以外,半导体还具有一些重要的特性。

(1) 如果在纯净的半导体中掺入极微量的其他物质,半导体的导电能力就会成十万倍、百万倍地增加。这是半导体最突出的特点,晶体二极管和三极管就是利用这一特性制成的。

(2) 半导体的导电能力随温度的不同而有显著改变。当温度升高时,半导体的导电能力显著增加;当温度降低时,导电能力显著减小。例如,硅(Si)在 200°C 时的导电能力要比一般室温时增加几千倍。

(3) 半导体受光照射时，它的导电能力大大提高，例如硫化镉(CdS) 在一般灯光照射下，它的导电能力要比移去灯光时大几十到几百倍。

利用半导体的后两个特性，可以做成热敏电阻、光敏电阻、光电二极管、光电三极管等半导体器件。另一方面，由于温度和光照对晶体管的影响很大，所以晶体管和晶体管收音机不能放在高温和强光的环境中。后面还要讲到，在使用晶体管时，要特别注意温度对它的影响。

(二) 半导体中的载流子

现在我们以半导体锗(Ge) 为例，讲一下半导体的导电情况。图 1-1 画出了锗原子的结构图。锗原子有 32 个电子，分

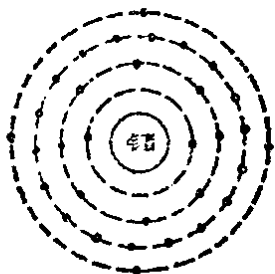


图 1-1 锗的原子结构

为四层，从里往外每层分别有 2 个，8 个、18 个、4 个电子。里面三层的电子受原子核的束缚力较大，比较稳定，一般不能参与导电。在一定条件下能够参与导电的只是最外

层的四个电子。原子最外层的电子叫做价电子。

在锗晶体中，许多原子很整齐地排列着。每个锗原子除掉吸引(束缚)住自己的价电子之外，还通过这四个价电子和另外四个锗原子的价电子成对地联系在一起，这样一对价电子就同时受到两个原子核的束缚，并为它们所共有。电子就好像起“键”(结合)的作用，所以我们把它叫做共价键。由于锗原子有四个价电子，所以一个锗原子和它相邻的四个锗原子在图上分别用两根线连接起来，来表示它们通过共价键结合在一起，如图 1-2 所示。图中小黑点就表示价电子，虚线为假想的共价键。

在纯净的锗半导体中，价电子都受到相邻两个原子核的束缚，不能到处乱跑，看来半导体是不能导电的。但是，事情并不是这样简单。共价键中的电子虽然受到束缚，但是这种束缚并不是牢不可破的。只

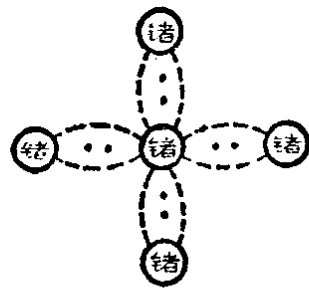


图 1-2 锗原子的共价键

要给这些电子一定能量，例如一般室温下的热量，就能使一部分共价键中的电子获得足够的能量挣脱共价键的束缚，成为自由电子。自由电子是能够参与导电的，我们把它叫做载流子。

共价键电子成为载流子后，它在共价键中就留下了一个空位，我们叫它为**空穴**。原子本来是呈中性的。现在跑掉了一个电子，原子就显出带正电。这样一来，有空穴的原子就有可能把邻近原子中的价电子吸过来，填补这个空穴，而使邻近原子中出现一个新的空穴，就好象空穴移过去一样。空穴既然能够自由移动，而且它的移动又相当于正电荷的移动，所以我们把空穴看成是带正电的载流子。

因此，在室温下，半导体中总是存在一定数量的载流子（自由电子和空穴）。在半导体两端加一定电压时，自由电子向电压正端漂移，空穴向电压负端漂移，就形成了一定的电流。所以半导体还是有一定导电能力的。如果温度升高或是受到光线照射，半导体中的价电子就接受到更多的能量，有更多的价电子获得能量成为自由电子，同时产生了同样数目的空穴。由于电子和空穴的增加，半导体的导电能力就随着增加。半导体的导电能力随温度和光照的不同而显著变化，就是这个原因。

(三) N 型半导体和 P 型半导体

现在设想在半导体锗晶体中掺入少量别种元素（即所谓杂

质), 例如砷或锑。因为砷或锑是五价元素, 它们的每个原子外层有五个价电子, 所以其中只有四个价电子和周围锗原子的价电子组成共价键, 还剩下一个价电子被排斥在共价键之外, 在室温下就可以变成晶体中的自由电子, 如图 1-3 所示。这样, 在锗晶体中, 由于掺入了“杂质”砷或锑, 就产生了许多自由电子, 它的导电能力大大增加。在这种情况下, 锗晶体中电子的数目很多, 是主要的载流子, 我们把它叫做多数载流子; 而锗晶体中的空穴数目则比较少, 我们叫它少数载流子。由于这时导电作用主要是依靠自由电子, 所以我们把这种锗晶体叫做电子型半导体, 因为电子是带负电的, 所以也叫它为N型半导体(N表示负的意思)。

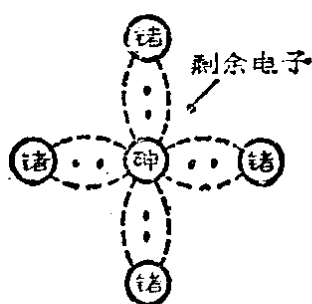


图 1-3 电子型半导体

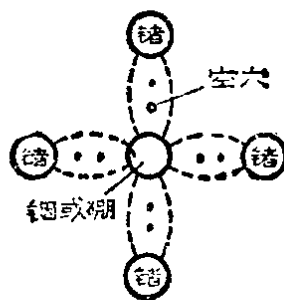


图 1-4 空穴型半导体

如果在锗晶体中加入少量的铟(或硼)的杂质, 由于铟是三价元素, 它们的外层只有三个价电子, 所以每个铟原子和锗原子组成共价键时, 就缺少了一个价电子, 而有一个空的位置留出来, 这就形成了一个空穴, 如图 1-4 所示。这样, 在锗晶体中就产生了许多空穴。前面说过, 空穴也是能够参与导电的, 所以锗晶体的导电能力就大大增加。在这种情况下, 空穴数目很多, 是起主要作用的载流子, 即多数载流子, 而锗晶体中存在的少量自由电子便是少数载流子。由于这时导电作用主要依靠空穴, 所以我们把这种锗晶体叫做空穴型半导体, 空穴是带正电的, 所以又叫它为P型半导体(P表示正的意思)。

(四) PN 结

如果在同一块半导体中，通过掺入不同杂质的方法，把一边做成P型半导体，另一边做成N型半导体，如图1-5所示，那么，由于P型半导体中的空穴密度大，N型半导体中的电子密度大，所以P区的空穴就要向N区扩散，同时N区的电子也要向P区扩散。扩散的结果，使N区的电子减少，在N区的一边就出现了带正电的原子(正离子)；同样，P区的空穴减少，出现带负电的原子(负离子)。离子质量较大，不会移动。因此，在P区和N区交界处，在P区一边有负离子，在N区一边有正离子，如图1-5中所示，形成了一个一边带正电荷，一边带负电荷的区域，叫做空间电荷区。这个由于载流子扩散作用产生的空间电荷区，叫做PN结。

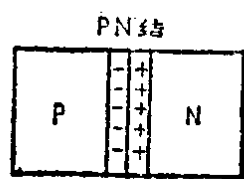


图 1-5 PN 结

空间电荷区中的正负离子形成了一个电场。这个电场的方向是由N区指向P区，它对P区的空穴和N区电子的扩散起阻碍作用。所以空间电荷区又叫做阻挡层。随着扩散的发展，带电离子增多，空间电荷区扩大，电场加强，扩散所受的阻力也逐渐加大。

另一方面，P区的少数载流子电子和N区的少数载流子空穴，在电场的作用下也会运动。P区的电子被吸向N区，N区的空穴被吸向P区。这种运动叫做漂移运动。电场越强，漂移运动也越强。这种漂移运动和前述的扩散运动方向刚好相反。在一定的条件下(例如温度不变)，扩散逐渐减弱，漂移逐渐加强，最后，通过交界面的扩散的载流子和漂移的载流子数量相等，运动方向相反，扩散不再发展，空间电荷区的厚度不再增加，达到了动态平衡，这时通过结的总电流为零。

空间电荷区建立的电场在 PN 结两边形成一个电位差。这个电位差叫做位垒(或势垒)。位垒越高,对扩散运动的阻碍越大,相当于阻挡层越厚。在一般情况下,锗 PN 结的位垒约为 0.1~0.4 伏,硅 PN 结的位垒约为 0.5~0.8 伏。

如果我们把 PN 结的 P 区接到电池的正极,而 N 区接到电池的负极,如图 1-6 所示,那么,外加电场的方向刚好和 PN 结电场方向相反,因此削弱了 PN 结电场,使阻挡层变薄,从而使扩散运动更容易进行。P 区的空穴将进一步向 N 区扩散, N 区的电子也进一步向 P 区扩散。由于位垒只有 0.3~0.7 伏,所以只要加零点几伏的电压,由多数载流子形成的扩散电流就大大增加,这时 PN 结呈现的电阻很小,处于导通状态。因此,我们把以这种方向加到 PN 结上的电压叫做正向电压。这时

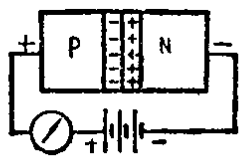


图 1-6 PN 结上加正向电压的情况

流通的电流叫做正向电流。

与此相反,如果把 PN 结的 P 区接到电池负极,而把 N 区接到电池正极,如图 1-7 所示,我们把这种情况叫做对 PN 结加了反向电压。在这样情况下,外加电池所产生的电场与 PN 结电场方向相同,加强了 PN 结电场,使 PN 结位垒增高,阻挡层变厚。这就使扩散运动受到更大阻碍,只要外加零点几伏的电压,就可以阻止扩散运动。这样 PN 结中只有载流子的漂移运动。但是,漂移运动是少数载流子的运动,所以形成的电流是很小的。当外加电压达一定数值后,凡是可能在 PN 结电场作用下参与导电的少数载流子都已参加导电,这时再增加外加电压,电流也不再增大。这个电流称为反向饱和

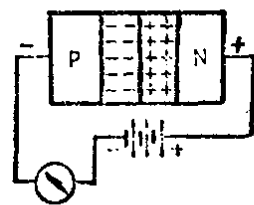


图 1-7 PN 结上加反向电压的情况

电流。由此可见，当PN结加上反向电压时，它呈现的电阻很大，可以说几乎是不导电的。

但是，反向电压不能加得太大。当反向电压达到一定数值时，它产生的电场强度足以破坏共价键，把半导体晶格中的电子拉出来，这时载流子骤增，反向电流也骤增。这种现象叫做PN结的反向击穿。开始击穿时的电压数值叫反向击穿电压。

从以上所介绍可以看到，PN结最重要的一个特性是它的单向导电性。晶体二极管和三极管，以及其他许多半导体器件，都是利用PN结的这一性能制成的。

(五) 晶体二极管

晶体二极管实际上就是由一个PN结所构成。它具有单方向导电的性能。在晶体管收音机中，常用晶体二极管作为整流和检波元件。

晶体二极管的种类很多。常见的几种外形如图1-8所示。图中a是代表晶体二极管的图形符号，b是一般检波用二极管或小电流整流二极管，c、d、e是几种整流二极管。它们都有两根引线，接P型半导体的引线叫正极，接N型半导体的引线叫负极。

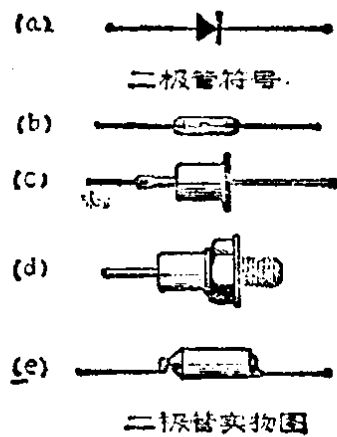


图 1-8 晶体二极管的符号和外形

根据结构的不同，晶体二极管分为点接触型和面结合型两种。点接触型晶体二极管是用金、银或钨等金属丝作为触针与半导体材料（N型锗或P型硅晶体）相接触，在针尖处形成一个PN结而成。由于点接触型晶体二极管的接触面积较小，因此允许通过的电流较小。但是它的极间电容也较小，所以宜于

用作高频检波。面结合型晶体二极管一般是在N型硅上面放一小块铝，在高温下烧结，使一部分铝熔于硅中，生成P型半导体，制出PN结。由于结合面较大，因而能允许通过较大的电流。但是它的极间电容也较大，所以只宜于在低频工作条件下使用，一般用作整流元件。

晶体二极管的主要参数有最大反向工作电压和最大允许电流。最大反向工作电压是指二极管所能承受的最大反向电压，如果外加的反向电压超过这个数值，电流猛增，很快会造成击穿。最大允许电流指在长期正常工作条件下允许通过的最大正向电流值。如果超过这一数值，二极管发热太多，会很快损坏。

二、晶体三极管的放大作用

(一) 晶体三极管的结构和类别

如果在同一块半导体中，通过不同的掺杂方法制出两个PN结，象图1-9所示的那样，就构成了一个晶体三极管。图1-9, a中，一块半导体材料的两边是P型半导体，中间是N型半导体，这叫做PNP型三极管。图1-9, b中，两边是N型半导体，中间是P型半导体，这叫做NPN型三极管。它们的工作原理是类似的。

晶体三极管和电子三极管很相似，它也有三个电极。一个是发射极，用 $E(e)$ 表示，与电子管的阴极相当；另一个叫集电极，用 $C(c)$ 表示，与电子管的阳极相当；第三个极叫基极，用 $B(b)$ 表示，在一定意义上讲，它与电子管中的控制栅极相当。

晶体三极管中有三个不同导电类型的区域，在它们之间的