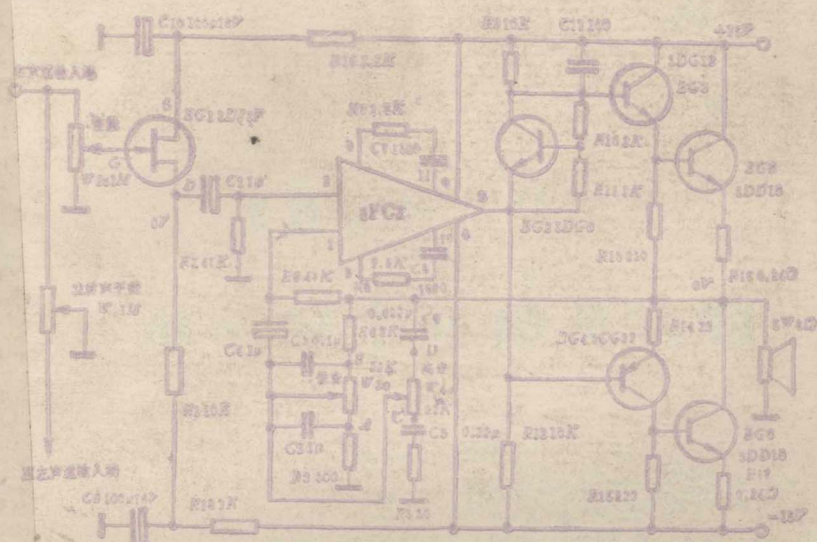




电子技术基础及实验

上册 泰安师范专科学校

高师专科物理教材

电子技术基础及实验

(上 册)

山东省泰安师范专科学校

第三版前言

本书是根据一九八二年九月全国师专物理教学大纲审定会议上通过的《电子技术基础》教学大纲，遵照教育部关于师专教材要体现师专特点、打好基础、精选内容、加强实验、体现教法的指示精神，经过数十所兄弟院校的试用和集体修编后，重新编写的。

本书分为上、下两册。上册包括晶体管、放大器的基本分析方法、放大器中的负反馈、常用放大器（场效应管放大器、直流放大器、功率放大器、集成运算放大器、音响设备）、直流稳压电源、调谐放大器等六章。下册包括正弦波振荡器、无线电广播、脉冲电路、电视、数字电路、电子计算机、电子管、电子测量仪器等八章。

本书可供二、三制师专、教师进修学院和高师函授作为教材，也可供中学物理教师作为进修读物。

本书的编写原则是：

一、根据高师专科物理专业的培养目标和中学物理教学的实际需要，精选基本内容进行编写。通过本课程的学习，要求学生能胜任初中物理课程的有关教学和实验工作，胜任劳动技术教育课程的有关教学工作。

二、注重理论联系实际，特别是联系中学教学实际；加强实验教学环节，发展学生能力。

三、注意体现教法，有利于教学。力求做到叙述简明，

条理清晰，语言精炼。在时间安排上给教师留有余地。

当前电子课程中的问题之一是，课程内容需要不断更新而教学时数有限。由于电子技术的飞跃发展，彩电、计算机等新的知识应当在课程中有所体现。经数十所院校的任课教师集体讨论，提出了一些解决办法，例如：从现有的教学时数出发，首先保证基本内容的教学；适当增加教学时数；适当压缩传统的内容以充实更新的内容，等等。我们认为，各校应根据本校的实际情况积极进行教学改革试验，从改革中寻找出路，使高师专科电子课程的教学更好地适应新的技术革命的需要。

本书基本内容的教学，可按讲课110学时、实验50学时安排。本书中带*号的为大纲所列选学内容，带**号的是大纲中没有的内容，都没有列入学时，各校可酌情处理。

本书由华东师范大学物理系主审。陈涵奎教授和翁默颖副教授给予了热情指导和帮助。翁默颖副教授、陈康宏副教授、王凯讲师认真审阅了全书。山东师范大学物理系袁祖华副教授认真审阅了全书，提出了详尽的修改意见。

本书是在上海师范学院朱鸿鹄教授的热情指导下进行修改编写的，得使本书更好地体现教学改革的精神。

本书始终得到高等教育出版社钟金城、郭玉风等同志的热情指导和帮助。

上海科学技术出版社吴延祺同志、上海无线电十八厂罗宁同志审阅了本书。吴延祺同志对本书的结构、内容和风格等提出了宝贵的指导意见。

山东省高教局对本书的编写和修改给予了指导。刘星南同志给予了热情的帮助。

本书初稿由李仲先、张培谦编写，其中电子管一章由张培谦编写，其余各章由李仲先编写。再版时张培谦参加了正弦波振荡器一章的修改编写。

多年来使用本教材的各兄弟院校的老教师们，热情地参加了本书的讨论和修改编写工作，他们是：

颜世科、李桂芬、张一平、秦文俊、尹国樑、石筑亚、何开新、高璘、王保山、刘德华、苏理明、万明知、梁其文、吴晓甫、胡燕月、孟祥增、邹培源、汪指南、王成文、谢广新、郭利明、韩庆义、李希海、于学厚、赵衡星、陈华、程定涛、李秀山、周良弼、赵志仁、王明阳、张宪魁、马学坤、戴洪彩、孟宪炬、宋瑞田、贾永朝、刘蓬勃、仇春凯、常传寅、崔大鹏、姜履齐、傅佑民、赵维刚、王革、王俊丹、李天超、席铁壮、王松德、马临坡、舒桂清、索丹池、杨丕玉、虞和光、赵虎城、王文林、董玉祥、王守法、金福海、马忠一、胡蜀秋、戈成业、傅祖彤、杨泽林、石景环、陈声甲、肖吉才、郑景华、马桂江、于锋、刘后秦、李良波、杨炎忠、李建国、冯绍国、王世康、童吉才、曹宏钧、陈百山、苏玉、李光仕等同志。

在此，谨向以上同志表示衷心的感谢。

我们继续希望使用本书的老师和同学，在教学实践中提出进一步的修改意见，使它更加完善，成为大家共同的成果。我们热情希望更多的关心师专教材建设的同志参加这一工作。

编 者

一九八四年六月

目 录

第一章 晶体管

1—1 半导体的导电特性	1
一、半导体的原子结构	2
二、半导体中的载流子	4
三、 N 型半导体和 P 型半导体	6
1—2 晶体二极管	8
一、 PN 结的形成	8
二、二极管的制造	10
三、 PN 结的单向导电性	12
四、 PN 结的伏安特性曲线	14
五、二极管的电流方程	18
六、二极管的特性参数和等效电路	19
1—3 晶体三极管	24
一、结构	24
二、电流放大作用	26
三、三极管的三种连接方式及其电流放大系数	31
四、三极管的伏安特性曲线	32
五、三极管的主要参数	38
1—4 实验 晶体管测试	41
思考题和习题一	45

第二章 放大器的基本分析方法

2—1 基本放大电路的组成和工作原理	47
--------------------	----

一、基本放大电路的组成	47
二、放大电路的工作原理	49
三、放大器的主要性能——放大性与保真性	54
2—2 放大器的图解分析法	55
一、图解法确定静态工作点	55
二、图解法分析动态变化	57
三、晶体管的线性运用	60
2—3 实验 单管放大器	63
2—4 静态工作点的稳定	66
一、温度对晶体管参数的影响	66
二、电流负反馈偏置电路	69
2—5 放大器的微变等效电路分析法	71
一、三极管的微变等效电路	72
二、利用微变等效电路计算放大倍数	74
三、三极管的输出电阻	77
四、晶体管的 h 参数等效电路	79
五、晶体管 h 参数的测量方法	81
2—6 放大器的输入电阻和输出电阻	82
**2—7 放大器的三种组态	87
一、共基极放大电路	87
二、共集电极放大电路(射极输出器)	91
三、放大电路三种组态的性能比较	94
2—8 实验 射极输出器	95
2—9 放大器的频率特性	99
一、幅频特性和相频特性	99
二、耦合电容对频率失真的影响	104
三、晶体管的混合 π 型等效电路	106
四、晶体管的高频特性对频率失真的影响	109
2—10 多级小信号放大电路	112
一、多级放大器的级间耦合	112

二、多级阻容耦合放大器的放大倍数	113
三、阻容耦合放大器的频率特性	114
2—11 实验 阻容耦合放大器	115
思考题和习题二	117

第三章 放大器中的负反馈

3—1 基本概念	121
3—2 负反馈的分类	123
3—3 负反馈放大器的具体电路	125
一、电压串联负反馈	125
二、电流串联负反馈	126
三、电压并联负反馈	127
四、电流并联负反馈	129
3—4 负反馈对放大器性能的影响	130
一、放大倍数	131
二、放大倍数的稳定性	134
三、输入和输出电阻	135
四、失真	136
五、通频带	136
六、静态工作点	137
3—5 实验 负反馈对放大器性能的影响	139
思考题和习题三	142

第四章 常用放大器

*4—1 场效应管放大器	143
一、结型场效应管	143
二、MOS绝缘栅场效应管	147
三、场效应管的符号与参数	149
四、场效应管放大器	153
4—2 直流放大器	156

一、直流放大器的级间耦合与零点漂移	156
二、差动式直流放大器	159
4—3 功率放大器	165
一、功率放大器的特点与分类	165
二、甲类单管功率放大器	167
三、乙类推挽功率放大器	175
四、OTL 功率放大器	183
4—4 实验 功率放大器的测试	189
4—5 集成运算放大器	192
一、集成电路及其分类	192
二、集成运算放大器的构造	194
三、集成运算放大器的特性	198
四、集成运算放大器的调零和补偿	205
***4—6 音响设备	206
一、集成电路录音机	206
二、立体声电唱机	213
4—7 实验 扩音机与喇叭配接	219
思考题和习题四	228

第五章 直流稳压电源

5—1 整流电路	234
5—2 滤波电路	239
5—3 稳压管稳压电路	248
5—4 串联式稳压电源	253
5—5 实验 稳压电源测试	263
思考题和习题五	264

第六章 调谐放大器

6—1 单调谐放大器	268
一、LC 并联谐振回路的谐振特性	268

二、品质因数—— Q 值	271
三、通频带和选择性	272
四、负载电阻对谐振回路的影响	276
五、部分接入式调谐回路和中和电路	280
六、单调谐放大器的性能计算	285
七、单调谐放大器的调整	288
**6—2 耦合谐振回路	290
一、等效电路和反射阻抗	290
二、谐振特性	294
三、通频带	298
6—3 双调谐放大器和多级调谐放大器	299
一、同步调谐	300
二、参差调谐	304
6—4 实验 调谐放大器测试	305
思考题和习题六	308

附 录

1, 常用晶体管参数	311
2, 常用元件参数	324

第一章 晶 体 管

1-1 半导体的导电特性

晶体管是电子电路的核心元件。晶体管是用半导体材料制成的。什么是半导体呢？

自然界的物质按导电性能，可分为三类：

导体——很容易导电，如银、铜、铝、铁等金属，其电阻率约 $10^{-6} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

绝缘体——很难导电，如陶瓷、云母、塑料、橡胶等。其电阻率约 $10^8 \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

半导体——导电能力介于导体和绝缘体之间，如硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)、碲(Te)、硼(B)等单质元素，氧化铜(Cu_2O)、氧化锌(ZnO)、氧化钡(BaO)等离子晶体，砷化镓(GaAs)、锑化铟(InSb)、磷化铟(InP)等金属化合物以及某些有机晶体等。其电阻率约为 $10^{-3} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

半导体具有以下特殊性质：

1. 它的导电性能与温度有密切关系，而且与一般导体的导电性能不同。例如，一般导体的电阻随着温度升高而略有增加（如：当温度由 20°C 升到 30°C 时，铜的电阻率升高0.2%），而半导体的电阻却随着温度的升高而急剧下降（例如，当温度由 20°C 升到 30°C 时，锗的电阻率降低50%）。

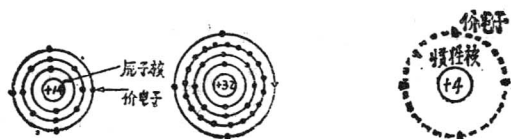
2. 它的导电性能与光照有密切关系。光照时, 半导体的电阻率也急剧下降。

3. 它的导电性能还与掺入其中的杂质浓度有密切关系。例如, 纯硅的电阻率为 $2000\Omega\cdot\text{cm}$, 当掺入 $\frac{1}{10^6}$ 的杂质时, 电阻率急剧下降到 $0.4\Omega\cdot\text{cm}$ 。

半导体的这些特殊性质是与它的原子结构有关的。

一、半导体的原子结构

由原子论可知, 原子由原子核和绕核旋转的电子构成。每种化学元素的原子所带电子数目都是一定的。例如锗有32个电子, 硅有14个电子。这些电子都按一定的层次绕原子核旋转, 如图1-1所示。



(a) 硅原子结构 (b) 锗原子结构 图1-2 原子结构简化图

图1-1 半导体的原子结构

经过实验和研究证实, 每种元素的化学性质和电学性质, 都是由绕核旋转的最外层电子的数目所决定的。我们把最外层电子叫做价电子。物质的导电能力主要取决于该物质的原子对其价电子的束缚能力的大小。金属原子对价电子的束缚能力小, 价电子很容易挣脱出来而成为自由电子。在外电场的作用下, 它们就形成电流。因而金属的导电能力强。

绝缘体的原子对外层价电子的束缚能力很强，价电子很难挣脱出来成为自由电子，因而它的导电能力很差。

而半导体的原子的导电结构与金属、绝缘体都不相同。

硅的最外层电子个数是 4，它有 4 个价电子，这些价电子的总电量是 -4 个电子电荷。因此，我们可以把硅原子看作是由它的原子核和里层 10 个电子构成的一个核（我们称它为惯性核，惯性核所带的电量是 +4 个电子电荷），再加上最外层 4 个电子，就构成了一个硅原子。同样地，锗原子也可以看作是它的惯性核和最外层 4 个价电子所组成，如图 1-2 所示。

在硅的单晶体中，硅原子以一定的规律排列着，每个硅原子都受到与它相邻的四个硅原子的束缚。每个硅原子的四个价电子也分别受到相邻四个原子的作用和影响。于是，每个价电子就为两个原子所“共有”，即：一方面它要围绕自身原子核运动，另一方面，也时常出现在相邻原子的价电子的轨道上。这样，两相邻原子就被一对共有的价电子联系在一起，价电子起了键（联接）的作用。这对共有的价电子叫

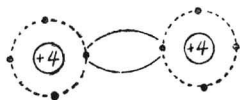


图 1—3 原子的共价键

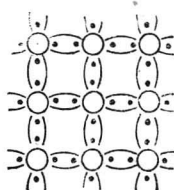


图 1—4 硅单晶共价键结构

做这两个硅原子的共价键，如图 1-3 所示。由于每个硅原子与 4 个硅原子相邻，所以这个硅原子的 4 个价电子就和相

邻的 4 个硅原子的 4 个价电子构成 4 个共价键，如图 1-4 所示。

二、半导体中的载流子

我们知道，物体的导电是由物体内带电粒子的移动而引起的，这种能在物体内自由移动的带电粒子叫做载流子。物体中的载流子浓度越大，则该物体呈现的电阻率就越小，导电性能就越强。金属导体中的载流子是自由电子；导电液体（电解液）中的载流子是正离子和负离子。半导体中也有载流子，即带负电的自由电子和带正电的空穴。

半导体中的载流子是怎样产生的呢？

原来，在硅单晶体的共价键结构中，当外界温度是绝对零度（ -273°C ）时，价电子没有能量脱离共价键的束缚。这时硅单晶体中是没有载流子的。但在常温下的硅单晶体中总是存在着一定规模的热运动，共价键中的某些电子就有可能获得足够的能量，使它摆脱共价键的束缚而形成自由电子，在硅晶体中自由移动。这样，在原来共价键的位置上就空下了一个空位，这个空位我们称作空穴。显然，空穴带有 $+1$ 个电子电荷的电量。我们将自由电子和由它形成的空穴叫做电子—空穴对，如图 1-5 所示。

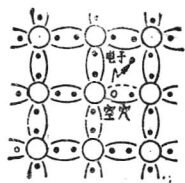


图 1-5 热激发产生的
电子—空穴对

由于物质总是在不断地运动，这就使得半导体内因为热运动而不断产生自由电子，同时还出现相应数量的空穴。这就是电子—空穴对的产生过程。但另一方面，自由电子在热

运动中又会与空穴重新结合而消失。这种与形成电子—空穴对相反的过程，叫做复合。电子—空穴对又产生又复合，这就是半导体内不断进行着的一对矛盾。在一定的温度的条件下，这对矛盾处于相对平衡状态。这时，虽然产生和复合过程仍在继续不断地进行，但电子—空穴对维持着一定的浓度。因而这时半导体呈现出一定的电阻率。如果温度升高，平衡就会遭到破坏，这时产生多于复合。半导体内的电子—空穴对浓度就要增加，而同时由于热运动的加剧，复合过程也会跟着增加。当复合数上升到同产生数相等时，一个新的平衡又建立起来。电子—空穴对的浓度又维持在一个新的水平上。这时半导体就呈现一个新的电阻率。显然，由于半导体的电子—空穴对的浓度在温度高时比在温度低时要大。因而它的电阻率在温度高时就比在温度低时要小。这就是半导体的导电能力与温度有密切关系的原因。而半导体的导电能力与光照有密切关系的原因也是同样的。

因为在常温下纯净半导体中由热激发产生的电子—空穴对的浓度比金属导体中自由电子的浓度低得多，而比绝缘体中自由电子的浓度又高得多，因此半导体在常温下的电阻率就介于金属导体和绝缘体的电阻率之间。

如上所述，我们把物体内部能够运载电荷到处流动的微粒叫做载流子。在金属导体内只有电子一种载流子。而在半导体内，不但有电子载流子，还有空穴载流子。所谓空穴，实际上是由于共价键中的束缚电子挣脱原子核对它的束缚成为自由电子后所留下的空位。当出现空穴时，附近共价键中的电子就很容易进来填补，从而形成共价电子或束缚电子的运动。这种共价电子的运动与自由电子的运动是不同的，它

在现象上和效果上都好象是一个带正电荷的空位子即空穴在移动，因此，空穴也可看成是一种载流子。

当半导体受到外加电压的作用时，自由电子进行定向移动而形成电子电流，共价电子依次填补空穴而形成空穴电流。这两种导电状态是不一样的。我们举例说明这两种导电状态的不同之处。例如，在体育馆内看球赛时，如果第一排的某甲走了，在甲处就空出来一个位子，坐在后排的某乙就愿意向前坐到这个空位子上。这样，原在甲处的空位子就好象“移”到了乙处。同样，如果原在乙后排的某丙又坐到了乙的空位上，则乙处空位又好象“移”到了丙处。如此循序填补的结果，空位就从第一排“移”到了最后一排。这种空位的“移动”，就相当于空穴的移动。那么，半导体内的电子导电运动又相当于什么呢？相当于体育馆内有一个人没座位而到处走动的情况。由这个例子可见，电子导电和空穴导电虽然在本质上都是电子移动，但它们的运动形式不同。电子是自由电子的移动而形成的电流，空穴导电是共价电子依次填补空穴而形成的电流。

三、N型半导体和P型半导体

下面再看向纯净的半导体（一般纯度要达到九个9，即99.9999999%）内掺入杂质的情况。

如果在纯净的半导体内掺入五价元素（即它的原子最外层有五个价电子），如磷、砷等，则这少量的五价元素的原子就取代了晶体中的部分硅原子，如图1-6所示。磷原子的4个价电子跟相邻硅原子的价电子形成共价键，而剩下的一个价电子虽然还受到磷原子核的束缚，但它很容易挣脱磷原

子而成为自由电子。所以，磷原子在晶体中起着施放电子的作用。我们将这种杂质叫做施主型杂质，而将掺有施主杂质的半导体称为 N 型半导体。施主杂质在没有施放自己的价电子时，是中性的，当它施放出自己的价电子以后，就成为带正电的正离子了。

在 N 型半导体中，自由电子的浓度比起由于热运动产生

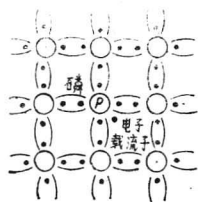


图 1—6 N 型半导体

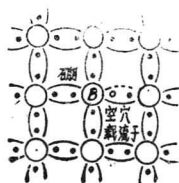


图 1—7 P 型半导体

的空穴的浓度大得多，因此外加电场时，主要依靠电子导电。在 N 型半导体中电子是多数载流子，而空穴是少数载流子。

如果在纯净的半导体内掺入三价元素，如硼、镓等，则三价原子取代了部分硅原子，如图 1-7 所示。由于硼只有三个价电子，所以它只能和相邻的三个硅原子组成三个共价键，而在第四个共价键上留下一个空位。其他硅原子上的价电子只要用很小的能量就可以跳到这个空位上。这个空位就是空穴。因此，硼原子在晶体中实际上起着接受电子的作用。我们将这种杂质称为受主型杂质。掺有受主杂质的半导体叫做 P 型半导体。受主杂质在没有接受外来价电子时，是中性的。但当它接受了一个外来价电子后，就变成带有一个负电荷的负离子了。

在 P 型半导体中，空穴的浓度比起由于热运动产生的电