

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

实用无线电维修 理论基础

高士曾 编



机械工业出版社

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

实用无线电维修理论基础

高士曾 编



机械工业出版社

本书讲述无线电电工基础。全书共十章,另有习题答案及附录。第一、二章介绍了导电原理和电场的基本概念;第三章为直流电路基础;第四、五章讲述磁场、磁路和电磁感应知识;第六、七、八章讲述正弦交流电及其电路计算;第九章为常用的几种线性电路;第十章为非正弦周期信号。导电原理结合了半导体导电原理;电场结合了电子枪和静电偏转原理;直流电路结合了万用表原理;磁场和磁路结合了磁头磁带知识及磁偏转原理;正弦交流电结合了无线电谐振知识;线性电路中介绍了无线电中的各种滤波器;非正弦周期信号介绍了调幅与调频原理。附录和习题答案中介绍了一些数学知识和无线电知识。本书适合于广大无线电爱好者、初学者、职业学校师生使用。

实用无线电维修理论基础

高士智 编

责任编辑:韩雪清 贡克勤 版式设计:朱淑珍
封面设计:晋天宝 责任印制:李兴民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

河北省涿鹿县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092_{1/16}·印张11·字数254千字

1996年5月第一版 第一次印刷

印数 7000-9000 定价:13.80元

ISBN7-111-04262-X/TN·89

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书
编写委员会

主 编	王仲文	孙祥根	关屹杰
副 主 编	贡克勤	高文龙	
主任编委	李兴民	高士曾	刘志平
编 委	韩泽林	魏 钢	李玉林
	赵炳祺	武绪廉	张 屹
	曹志宏	陶宏伟	沈 文
	邹 平	宋贵林	李旭东
	李振华	张峻峰	邓从真
	王 敏	杜德昌	李 波
	段 欣	李援瑛	刘慧贞
	王银波	孟宪明	刘新民
	赵山鹰	孙志奇	聂在强
	迟朋亘	陈延军	黎国胜

序

根据劳动部和国内贸易部联合颁发的“商业行业工人业务技术等级标准”要求,为了培训各类家用电器维修技术人员,本书由劳动部、国内贸易部组织专家进行审定。它是我国目前工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核唯一的一套具有系统性、权威性的辅导丛书。本书突出实践环节,注重家电维修的基本技能训练,明确技能要求和考核标准,使读者在尽可能短的时间内取得技术等级证书。本书由机械工业出版社出版。

本套教材包括《实用无线电维修理论基础》、《实用无线电维修操作基础》、《实用无线电维修技术基础》、《实用无线电维修测试基础》、《新编黑白电视机电路解说与故障分析、检修》、《新编收录机电路解说与故障分析、检修》、《新编彩色电视机电路解说与故障分析、检修》、《家用制冷设备原理与故障分析、检修》、《家用电热、电动器具原理与故障分析、检修》、《新编家用录像机电路解说与故障分析、检修》共10本。各类家电维修人员都将按照本教材组织培训、考核、晋升等级。此套丛书的读者对象是:具有初中以上文化程度的全国家电维修人员,职工大学、职业中学家用电器专业师生以及广大无线电爱好者。

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书编委会

1994年1月

前 言

《实用无线电维修理论基础》是全套丛书的第一册,作为后续无线电技术课程的基本理论基础。编写这本书时,为了达到本丛书的总体目的与要求,突出了对无线电技术的针对性,避免了泛泛的一般电工原理的陈述。本书有如下特点:

一、紧密结合无线电技术实际

从第一章物质导电原理开始,就把各章节中的有关定义、理论、公式、应用及习题直接引入到无线电实际知识中去,决不停留在纯电工理论与计算上。第九章几种常用的线性电路和第十章非正弦周期信号是无线电技术中的信号与线性系统的基本知识。所有应用举例、习题与单位、数量级都是无线电中实例,使读者尽快地接触到无线电技术,从而满足维修工作的要求。

二、大量压缩篇幅达到少而精的要求

一般的无线电技术职业教材,把数学单独编写为一本书,以补充高中数学内容,篇幅大课时多,拖延到与专业课并行讲述,而且纯数学理论与运算,跟不上后续课的要求。而本书把有关的数学知识编入各章节中,把数学与电工两本合并为一本。为免去读者查阅数学课本的麻烦,在最后附录中讲述必要的代数和三角函数理论。读者可以先学习附录中的知识,也可以在学习正文过程中翻阅有关附录,达到少而精的要求。

三、突出物理概念,形象生动

本套丛书是供维修无线电职业人员阅读的,重点在于物理概念清楚准确,所以本书中很少有纯理论推导过程,必要的公式是为后续课程中所使用的,例题与习题也偏重于概念,为维修工作打基础。在学习专业课时再看本书内容,将会有更深刻的理解。为了概念建立得牢固,本书中插入了大量无线电电路图和结构原理图,使初学者形象生动地进入无线电知识领域。希望读者在学习本书时,就有意识地记住一些无线电实际数据和单位,并能结合自己身边的无线电设备初步了解其工作原理和正确使用这些设备的方法,增加学习的兴趣和信心。

四、减少习题量,避免纯数学运算

本书中例题不多,突出了正文篇幅,但习题全部给出答案。习题量不大,但习题内容很重要,大部分是基本概念题和实际应用题,读者是必须完成的。运算题不多,讲课辅导教师可酌情增加一些运算题目。这种安排突出了正文的基本概念陈述,使读者不感到杂乱无章,并利用习题内容巩固和扩展了知识面,学起来轻松且有重点。一个正确的牢固的物理概念决不是一下子建立的,读者应把各章节、习题、附录穿插并反复学习才能达到精通的目的。有时一个概念或一个公式一时搞不懂,在不妨碍继续学习时,可以先不管它,只承认其结论,在后续学习时反过来就能理解透彻了。无线电技术涉及知识面很宽,不要为一个枝节问题而停顿下来。

总之,把数学、物理、电工及无线电信号与系统、无线电电路结合起来编写这本《实用无线电维修理论基础》,形成新的系统性还是一种尝试。本书编写仓促,不足之处望广大读者批评指正。本书插图由孙木乔同志完成,在此表示感谢。

作 者

1994.5

目 录

序

前 言

第一章 物质导电原理——自由电荷 1

第一节 物质 1

一、物质的组成 1

二、电子、质子、中子和原子 1

三、正离子 2

四、负离子 2

五、离子化合物 2

六、半导体硅和锗 2

第二节 物质导电条件 3

一、物质导电的外部条件 3

二、物质导电的内部条件 3

第三节 气体导电原理 3

第四节 绝缘体击穿导电 3

第五节 溶液导电原理 3

第六节 纯净半导体导电原理 4

第七节 掺杂半导体导电原理 5

一、N型半导体 5

二、P型半导体 5

三、PN结——单向导电 5

第八节 真空中电子导电原理 5

一、热电子发射 5

二、二次电子发射 6

习题 6

第二章 电场 7

第一节 电子的荷电量 电量与电流 7

一、电子的荷电量 e 7

二、电量 Q 7

三、电流 I 7

四、电流密度 J 7

第二节 库仑定律——点电荷的电场 7

一、电场力 7

二、库仑定律 8

三、电力线 8

四、电场强度 E 9

五、电位 V (电势能) 9

六、等电位面 9

七、电压 U (电位差、电势差) 10

第三节 均匀电场的概念 10

一、均匀电场 10

二、平行板电场 11

第四节 电子在电场中的运动 11

一、电子的加速 11

二、电子的偏转 12

第五节 静电聚焦 12

一、电子枪 12

二、12英寸黑白显象管的构造(31SX1B) 13

三、示波管的构造 14

第六节 静电感应 14

一、摩擦生电 14

二、静电感应 15

三、静电平衡 15

四、静电屏蔽 15

五、避雷原理 16

第七节 电容的概念 16

一、电容器 16

二、电容 16

三、电容的并联 17

四、电容的串联 18

五、电容器的耐压值 18

第八节 电容器的分类 18

一、电容器的材料与特征 18

二、电容值系列及误差 18

三、各种电容器的名称代号 19

习题 19

第三章 直流电路 20

第一节 直流电源 20

一、电池容量 20

二、干电池寿命 20

第二节 欧姆定律 21

一、欧姆定律的内容 21

二、电阻的功率 21

三、电阻器的分类 21

四、电阻器标称系列	21	二、磁力线	39
五、电阻器的额定功率系列	22	第三节 磁力定律	39
六、常用电阻器型号	22	一、洛仑兹力	39
七、常用电位器型号	22	二、安培力	40
八、电阻器命名法	22	第四节 磁感应强度	41
第三节 电阻率和电导率	22	一、磁感应强度 B 的大小	41
第四节 全欧姆定律	22	二、磁感应强度 B 的方向	41
一、电压源 (E, R_0)	23	三、均匀磁场中的磁力计算	41
二、端电压 U	23	第五节 磁场力的应用举例	42
第五节 电功与电功率	23	一、磁偏转——运动电子在磁场中的偏转	42
一、电功与电功率的概念	23	二、直流电动机——载流导线在磁场中 受力	43
二、电度电	23	第六节 磁通	43
第六节 直流串并联电路	23	一、磁通密度	44
一、串联电路	24	二、磁通量	44
二、并联电路	24	第七节 磁场强度	44
第七节 电源的串联	25	一、磁场强度的概念	44
第八节 基尔霍夫定律	25	二、几种常用的磁场强度计算公式	44
一、基尔霍夫第一定律——节点电流定律	25	第八节 霍尔元件(磁敏元件)	45
二、基尔霍夫第二定律——回路电压定律	25	第九节 铁磁物质的磁化	46
第九节 叠加原理	27	一、磁分子(安培假说)	46
第十节 戴维南定理	28	二、铁磁物质的磁化	47
第十一节 电压源与电流源	29	三、磁滞回线 ($B-H$ 曲线)	47
一、电压源	30	第十节 磁路欧姆定律	48
二、恒压源	30	第十一节 磁头与磁带	50
三、电流源	30	一、磁带结构	50
四、恒流源	30	二、磁头结构	50
五、恒压源与恒流源的转换	30	三、磁信号记录过程	50
第十二节 惠斯通电桥	30	四、磁信号重放过程	51
第十三节 MF-47 万用表分析	31	习题	51
一、磁电式指针电流表表头	31	第五章 电磁感应	52
二、MF-47 万用表直流电流电路	31	第一节 电磁感应现象	52
三、MF-47 万用表直流电压电路	33	一、电磁感应现象之一	52
四、MF-47 型万用表电阻档原理	35	二、电磁感应现象之二	52
五、小结	35	第二节 电磁感应基本定律	52
习题	37	一、楞次定律——判定感应电流方向	52
第四章 磁场与磁路	38	二、法拉第定律——确定感应电动势大小	53
第一节 磁现象及其本质	38	三、小结	53
一、磁现象	38	四、直导线切割磁力线——右手定则	53
二、磁本质	38	第三节 自感与互感	54
第二节 磁场与磁力线	38	一、自感现象——自感 L (电感)	54
一、磁场	38		

二、自感电动势——反电动势 E_L	54	一、RLC 并联容性电路	83
三、互感现象——互感 M	55	二、RLC 并联感性电路	83
第四节 线圈的串联	55	三、RLC 并联阻性电路	83
一、线圈的同名端	55	第三节 RLC 串联谐振	83
二、线圈的串联及计算	56	一、LC 电路的固有谐振频率	83
第五节 磁屏蔽	57	二、RLC 串联电路的频率特性	85
第六节 涡流	57	第四节 RLC 并联谐振	88
习题	58	一、高频调谐放大电路	89
第六章 正弦交流电	59	二、电感电阻串并联等效变换	90
第一节 直流电和交流电	59	三、RLC 并联电路频率特性	90
一、直流电流定义	59	第五节 阻抗串并联电路	91
二、交流电流定义	59	习题	94
第二节 正弦交流电流的产生	60	第九章 几种常用的线性电路	95
第三节 正弦交流电的三要素	60	第一节 多级单调谐回路	96
一、正弦交流电波形(瞬时值表示法)	60	第二节 双调谐耦合回路	96
二、振幅、周期和初相位	60	第三节 常用的几种滤波器	97
三、正弦交流电的有效值	62	一、低通滤波器	97
第四节 正弦交流电的表示法	63	二、高通滤波器	98
一、正弦量的矢量表示法	63	三、带通滤波器	98
二、正弦量的复数表示法	64	四、带阻滤波器	98
习题	66	五、几点说明	99
第七章 正弦交流电简单电路计算	68	第四节 天线与高频电缆	99
第一节 单一负载正弦电路	68	一、无线电波	99
一、纯电阻正弦电路	68	二、天线	100
二、纯电容正弦电路	69	三、高频电缆	102
三、纯电感正弦电路	70	第五节 变压器	103
第二节 RL 和 RC 串联正弦电路	72	一、理想变压器	104
一、RL 串联正弦电路	72	二、阻抗匹配变压器	104
二、RC 串联正弦电路	73	三、变压器的效率	105
第三节 RC 和 RL 并联正弦电路	75	习题	105
一、RC 并联正弦电路	75	第十章 非正弦周期信号	106
二、RL 并联正弦电路	77	第一节 非正弦周期信号的形成	106
第四节 交流与直流电路分析的区别	78	第二节 常用的几种非正弦周期信号的频 谱	107
一、直流电路分析原则	78	一、方波电压频谱	107
二、正弦交流电路分析原则	78	二、矩形脉冲电压频谱	108
习题	79	三、半波整流波形的频谱	109
第八章 正弦交流 RLC 电路计算	80	四、全波整流波形的频谱	109
第一节 RLC 串联正弦电路	80	第三节 调幅波和调频波的频谱	109
一、RLC 串联感性阻抗	81	一、调幅波及其频谱	109
二、RLC 串联容性阻抗	81	二、调频波及其频谱	112
三、RLC 串联阻性阻抗	81	三、调频与调幅的比较	113
第二节 RLC 并联正弦电路	81	四、全电视信号波形与频谱	114

第四节 非正弦周期信号通过线性电路	116	一、锐角三角函数的定义和公式	144
一、非正弦周期信号的有效值和功率	116	二、任意角三角函数的定义和公式	146
二、半波整流和滤波的计算	117	三、反三角函数	148
习题	118	附录 C 复数与矢量	149
各章习题参考答案	119	一、复数的代数式及其运算	149
附录	136	二、矢量与标量	149
附录 A 坐标系、函数与曲线、方程与图		三、复平面(复数与矢量)	149
解法	136	四、旋转矢量(非空间矢量)	151
一、函数	136	附录 D 指数和对数的应用	152
二、坐标系	136	一、指数与单位换算	152
三、图象与曲线	137	二、对数与分贝	153
四、方程与图解法	139	附录 E 各章节中的定义与公式	155
五、曲线斜率	141	附录 F 电声器件	160
六、指数与对数曲线	143	一、扬声器	160
附录 B 三角函数	144	二、传声器	161

第一章 物质导电原理——自由电荷

第一节 物 质

一、物质的组成

每种物质都是由某种大量分子所组成的。分子由一种或多种原子所组成的。原子是由原子核和核外电子所组成的。原子核是由质子和中子所组成的。核外电子分成数层围绕原子核而旋转。中子由质子和电子组成。

最简单的原子是氢原子，原子核中只有一个带正电的质子，核外只有一个带负电的电子围绕原子核旋转。两个氢原子组成一个氢分子，大量的氢分子组成氢气。

常用的导体材料铜，半导体材料硅和锗，日光灯中的汞（水银）等几种物质的原子模型如图 1-1 所示。

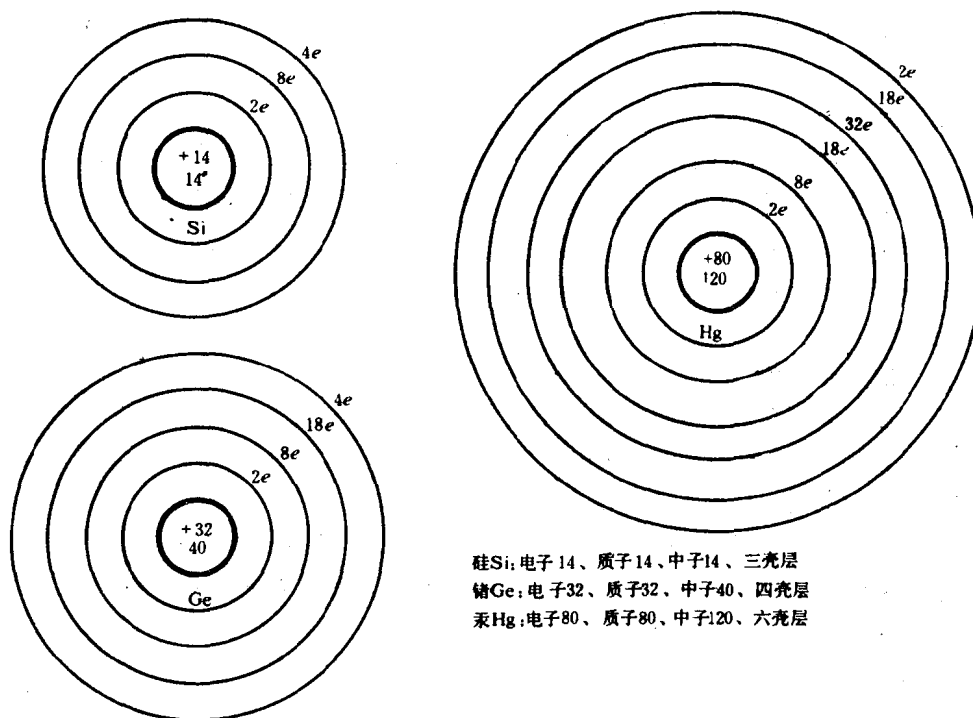


图 1-1 几种物质的原子模型图

二、电子、质子、中子和原子

(一) 质量和电量

1) 电子质量 $m_e = 0.91 \times 10^{-30} \text{kg}$ (千克)

电子电量 $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ (库) (带负电)

2) 质子质量 $m = 0.166 \times 10^{-24} \text{ kg}$ (千克)

质子电量 $q = +1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (库) (带正电)

3) 中子质量 $m + m_e \approx m (\because m_e \ll m)$

中子电量 $q + e = 0$ (呈电中性, 不带电)

4) 原子量 = 中子个数 + 质子个数 (无单位)

原子质量 = 原子量 $\times (0.166 \times 10^{-24}) \text{ kg}$ (千克)

5) 原子序数 = 电子个数 = 质子个数

原子电量 = 原子序数 $\times (q + e) = 0$ (呈电中性, 不带电)。

(二) 原子稳定条件

原子最外层电子个数为 2 或 8 时最稳定, 化学性质最不活泼。如惰性气体。在白炽热灯泡中常常充有惰性气体, 以防止钨丝被氧化而缩短寿命。

三、正离子

为了达到原子稳定条件, 原子最外层电子个数不是 8 时, 可以丢失最外层电子, 而满足稳定条件。丢失电子的原子成为正离子而带正电, 这是因为电子数少于质子数的缘故。

最外层电子个数小于 4 个的原子最易丢失电子形成正离子。大部分金属原子属于这种情况。

四、负离子

为了达到原子稳定条件, 原子最外层电子个数不足 8 时, 可以得到其他原子的电子, 而使其最外层电子数为 8 个的稳定条件。得到外来的电子成为负离子而带负电, 这是因为电子数多于质子数的缘故。

最外层电子个数为 5、6、7 时, 最容易得到电子形成负离子。大部分非金属物质属于这种情况。

五、离子化合物

非金属元素和金属元素化合成离子化合物。金属原子丢失电子给非金属原子, 达到双方满足稳定条件。金属原子丢失电子成正离子带正电; 非金属原子得到电子成负离子带负电。两者间依靠正电与负电相吸引而形成离子化合物分子。

例如, 食盐分子就是典型的离子化合物, 它是由一个钠 (Na) 原子和一个氯 (Cl) 原子所组成。钠原子丢失最外层的唯一电子给氯原子, 形成带正电的钠离子。氯原子最外层有 7 个电子, 从钠原子处得到一个电子, 形成负的氯离子。正的钠离子和负的氯离子互相吸引成为氯化钠分子, 就是食盐。

又如, 大量的氧化物都是氧原子得到其他原子的两个电子, 使其最外层 6 个电子成为 8 个, 成为带负电的氧离子。而丢失电子的原子成为正离子, 如金属被氧化, 物质的燃烧等形成氧化物都是电子得失而形成新物质的过程。

六、半导体硅和锗

硅和锗是四价元素, 即其最外层为 4 个电子, 不易丢失也不易得到电子满足 8 个电子的稳定条件。因此化学性能不太活泼。其导电性能也很差, 介于导体和绝缘体之间, 故称为半导体材料。用来制作二极管、三极管和各种集成电路。

第二节 物质导电条件

一、物质导电的外部条件

物质导电的外部条件为在导体两端加有外部电场（电源）。

二、物质导电的内部条件

物质导电的内部条件为物质中必须存在可以自由运动的电荷（载流子）。

载流子是指自由电子、可移动的正离子或负离子等。在外电场作用下，带负电的自由电子或自由负离子向电位高的电源正极运动；而带正电的自由正离子向电位低的电源负极运动。这两种载流子在外电场作用下做定向运动而形成电流。气体、液体或固体导电原理不同点就在于其产生载流子的原因不同，导电性能不同。

第三节 气体导电原理

在常温低电压情况下，一般气体是不导电的。因为气体分子是电中性的，不带电，没有带电的载流子存在，不满足物质导电的内部条件。

在高电压（几百伏至数千伏）外电场作用下，某些气体分子被强电场分离为自由电子和正离子，形成了可移动的载流子。电子带负电向外电场高电位正极运动；而正离子带正电，由于其质量较大，所以以较慢的速度向低电位负极运动，形成气体导电原理称为**气体电离导电**。

例如，断开各电路电源开关时，我们看到有火花出现，就是在断开电路瞬间有较高的反电动势电压把空气击穿导电的缘故。

又如，日光灯管中充有汞蒸气，在启动器作用下，产生的高电压把汞分子电离为电子和正离子。电子和正离子在运动过程中撞击日光灯管内壁上涂敷的荧光物质发光明。

第四节 绝缘体击穿导电

绝缘体在一般电压下是绝对不导电的。因为绝缘物质如木材、涤纶、尼龙、云母、陶瓷、玻璃等都没有载流子，不具备导电的内部条件。

在极高电压（几千伏、几万伏）电场作用下，绝缘体分子被击穿分离为电子和正离子。正离子不好移动，但电子可以移动而形成电流，造成**绝缘体高压击穿导电**。不同的绝缘材料其击穿电压相差很大。用各种绝缘材料制成的电容器，绝缘导线等电子元件其耐压值也极不相同。故在选配时，应首先注意元件实际工作电压值，使用耐压值高于工作电压值的元件才能不击穿，不造成击穿短路的危险。这是维修工作的基本常识。

第五节 溶液导电原理

纯净的水是不导电的，因为一个水分子是由两个氢原子和一个氧原子牢固地结合在一起，很难电离成为正负离子，故不导电。

水溶解了其他物质成为溶液。大部分溶液却能导电，称为**电解液导电**。如食盐水是导电

的。水分子很难电离，但食盐分子是氯化钠 (NaCl)，在水中很容易地电离为带正电的钠离子和带负电的氯离子，成为食盐水导电的载流子。在外电场作用下，正离子向电源负极运动，负离子向电源正极运动，从而形成电流。所以说，纯水不导电，干燥的固体食盐不导电，而食盐的水溶液是良好的导电体。当然，不同的溶液导电性能差异是很大的。

空气中含有水蒸汽，水是不导电的，但是空气中还存在着各种可电离的物质，如工业区大气中有不少酸性物质，如硫酸、盐酸化合物可溶于水蒸汽中而导电。这一点对电子设备危害极大，不仅腐蚀其中的元器件，还可使其绝缘性能变坏，导致烧毁设备，尤其是彩色电视机中上万伏高压电路特别需要防潮，在梅雨季节要经常开机，用其本身的温升驱赶潮气。

第六节 纯净半导体导电原理

锗和硅是最常用的半导体材料。它们是四价元素，也就是每个原子的最外层电子个数是4个。为了满足最外层为8个电子的稳定条件，它们不易丢失也不易得到电子，而是每个原子与其相邻的四个原子共用电子，形成互绕的8个电子的4对电子对，在化学中称为共价键结合方式。结合力很大，不易形成自由电子，故其导电性很差，电阻率很大，介于导体和绝缘体之间，称为半导体。

纯净（本征）半导体在常温下微弱导电。这是因为只有极少数束缚在原子核周围脱离其吸引力成为自由电子，成为载流子，可以在原子缝隙中运动。另外，失去一个电子的原子周围成为7个电子，形成一个“空穴”。这个原子总希望有8个电子在其周围，可从邻近原子处吸引一个电子来补足8个，但邻近原子处又形成一个“空穴”，这样又形成一种载流子“带正电的”空穴导电。这就是束缚电子的转移过程，称为本征导电。

在外电场作用下，自由电子和束缚电子形成的“空穴”称为“双极型”载流子，带负电的自由电子向电源正极运动，带正电的空穴向电源负极运动（实际是束缚电子向负极运动）形成电子流和空穴流。两种载流子叫“双极型”。

纯净半导体在常温下微弱导电，但是对温度极为敏感。温度上升，电子和空穴成对出现增加，电阻下降；温度下降，电子空穴对减少，电阻增大，这是半导体的热敏性。

纯净半导体对光照也很敏感。光照下，电子空穴对增加，载流子增多，电阻下降，与升温效果一样，这是半导体的光敏性。

可以利用半导体的热敏性和光敏性制成热敏元件和光敏元件。

半导体制成的二极管、三极管和各种集成电路，也必然对热和光很敏感，使其工作稳定性下降，这是不利的一面。故各种半导体器件要限制其工作温度范围，并采用各种封装使其避光和散热。在电路中也采用温度补偿作用的措施，即采用互补的温度系数的元器件，温度上升时，有的电阻变大，有的电阻变小，使其平衡。

纯半导体的电阻率呈负温度系数，即温度上升，电阻变小；温度下降，电阻变大。而金属导体却是电阻率呈正温度系数，即温度上升，电阻变大；温度下降，电阻变小。这是因为，在常温下，金属中所有原子最外层电子均已成为自由电子，温度上升时，大量的自由电子相互碰撞机率增大，沿外电场作用下做定向运动困难，呈电阻增大的效果。反之温度下降，自由电子运动速度下降，相互碰撞机率下降，电阻率下降。这一点与纯半导体不同。

第七节 掺杂半导体导电原理

本征半导体即纯净的半导体（锗、硅等）导电能力是很差的，在室温下只有极少的电子空穴对载流子。但是掺入少量的杂质，三价或五价元素，却使其导电性能大大提高。制作二、三极管或集成电路，都是采用掺杂半导体，而不用纯半导体，称为**掺杂半导体导电**。

一、N型半导体

在锗或硅中掺入五价元素氮、磷、砷、锑、铋。五价元素的原子最外层电子为5个，只与四价锗或硅共用4个电子相互旋绕，剩下一个电子很易脱离原子核的吸引力成为自由电子在原子缝隙中自由运动，在外电场作用下做定向运动形成电子流。故在纯半导体中掺入杂质，可形成载流子，掺杂得多其电阻小，导电性好。一般百万个四价原子中掺入一两个五价原子。

当然，在室温下也会有本征导电的电子空穴对，但它们远远少于掺杂载流子数目。故掺入五价元素的半导体导电中电子个数远远大于空穴数，电子带负电（Negative 负）所以称为N型半导体。多数载流子（多子）为电子，少数载流子（少子）为空穴。

掺杂半导体多子的数量由掺杂浓度所决定，而少子是本征导电，其数量受温度影响。

二、P型半导体

在锗或硅中掺入三价元素硼、铝、镓、铟等，三价元素的原子最外层电子为3个，与相邻的四价原子需要4个电子相互围绕，满足8个电子的稳定状态，因此缺一个电子形成“空穴”。可以从相邻原子共用电子对中吸引一个电子满足8个，但相邻处又少一个电子“空穴”。故在外电场作用下，这种束缚在原子周围的电子也可以“空穴”形式定向运动而形成“空穴”流。

当然，在室温下也会有本征导电的电子空穴对电流，它们是很微弱的。在掺入三价元素的半导体的载流子中，空穴数远远多于电子数，空穴（缺电子处）带正电（Positive 正），所以称为P型半导体。多子为空穴，少子为电子。多子个数由掺杂浓度所决定，少子个数由温度决定。

三、PN结——单向导电

把P型半导体与N型半导体结合起来形成PN结，具有单向导电性能。即只允许电流从P型半导体流向N型半导体，而不允许反向电流。这是今天电子技术的基础，发明者从而获得了诺贝尔奖，具有划时代的意义。

一个PN结就是一个半导体二极管。两个PN结组成半导体三极管。在一块几平方毫米面积的N型或P型半导体薄片上，可制作几十个至上万个二极管、三极管构成小规模、大规模、超大规模集成电路。从而制造出计算机、电视机、录象机、录音机等等先进的电子设备。

第八节 真空中电子导电原理

一、热电子发射

真空中没有载流子，是不导电的。需要人为地形成载流子才能导电。最常用的是热电子发射方法。如早期的电子器件就是真空二极管和真空三极管、四极管、五极管等，称为电子管时代。出现半导体（固体）器件后，仍有不少真空电子器件未能被取代，如电视机的显象

管、摄象管、示波管、X射线管等。

真空玻璃壳中放有两个电极，加正电压端叫阳极，加负电压端叫阴极。阴极一般是由镍筒制成，镍筒表面涂有氧化物薄层，镍筒内部有一组加热的灯丝使镍筒阴极温度达上千摄氏度。高温下阴极的电子能量加大，使不少电子飞出阴极表面脱离阴极，在阴极逸出电子叫做热电子发射。涂有氧化物层是为了在较低温度下就有大量热电子发射，提高逸出效率。

从阴极逸出的热电子飞向阳极，形成真空管壳中的电子流，从而导电。当然阳极若接成负电压，不但不吸引电子，还会排斥电子，不形成电流不导电。故真空二极管也有单向导电作用，加上网状或筒状电极构成真空三极管、四极管、显象管和摄象管等电真空器件。

氧化物层可使阴极发射电子效率提高，但是当温度变化时其膨胀系数小于镍筒的膨胀系数。故每次接通和断开灯丝电源时，温度从室温变为上千摄氏度，氧化物层与镍筒伸缩变化很不一致，从而使氧化层脱落，热电子发射效率降低，使用寿命降低。这也就是不要频繁地开关电视机的道理。

二、二次电子发射

在电视机显象管中阳极加速电压高达几万伏，示波管中也上千伏，X射线管中更高。因此阴极热电子在正的高电压作用下做加速度运动，到达荧光屏时速度很高，能量很大。

高速电子碰撞到金属上，把动能传给金属中的电子使其能量增大，从而逸出金属表面，这被轰击出来的电子叫做二次电子，高速电子叫做一次电子。金属的二次电子与一次电子数目相等，因此金属既不会积累电子，也不会缺少电子。

但是，高速电子碰撞到电视机显象管荧光屏上，荧光粉被轰击出的二次电子数少于一次电子，速度愈高愈少，从而使荧光屏积累电子带负电，阻碍高速电子碰撞荧光屏，使亮度下降。为此，在荧光屏后面涂上一层非常薄的铝金属膜，不妨碍高速电子撞击荧光物质发光，又使二次电子个数和一次电子个数相等，不产生电子积累现象。另外，铝膜还可使荧光粉发出的光反射到显象管正面，又进一步提高了发光效率，提高了显象管的亮度和对比度。还避免了个别质量大的负离子轰坏荧光粉造成离子斑。因此，我们看到的显象管是黑灰色的，这就是铝膜的作用。从荧光屏上撞出的二次电子被上万伏的高压电极吸收形成显象管中真空电子流。有了金属铝膜可进一步加高正电压，使电子束速度增大，亮度也高。但必须注意电视机的防潮和防尘。维修时带电操作要注意高压危险。另外，显象管中还有几个几百伏的阳极，可起到电子聚焦作用。

习 题

1. 分子和原子有何区别？
2. 画出金、银、铜、铝、铁的原子模型，并解释它们导电性能的差异。
3. 解释盐酸水溶液导电原理。
4. 电源开关接通与断开时为什么会出现火花？还会干扰电视机、收音机？
5. 把气体、液体和固体导电原理作一小结，并加以比较。
6. 电视机为何要防潮和防尘？如何正确使用保养达到防尘和防潮要求？

第二章 电 场

第一节 电子的荷电量 电量与电流

一、电子的荷电量 e

电子带负电。电子所带的电量最小。一个电子的荷电量符号记为“ e ”。

二、电量 Q

任何带电体所带的电量必然是电子荷电量 e 的整数倍。电量的符号为 Q ，电量单位名称为库仑，单位符号为 C 。

$$1C = 1.6 \times 10^{19}e$$

例如，某带电体带有 10 库仑正电荷，可记为 $Q_1 = 10C$ ；另一个带电体带有 5 库仑负电荷，可记为 $Q_2 = -5C$ 。

三、电流 I

电流强度简称电流，是自由电荷在外电场作用下所做的定向运动。若通过导体截面每 1 秒钟 (s) 流过 1 库仑 (C) 电量，则电流为 1 安培 (A)。

$$I = Q/t (\text{电流} = \text{电量} / \text{时间})$$

$$1 \text{ 安 (A)} = 1 \text{ 库/秒 (C/s)}$$

$$1 \text{ 安 (A)} = 10^3 \text{ 毫安 (mA)} = 10^6 \text{ 微安 (}\mu\text{A)}$$

四、电流密度 J

电流密度描述的是单位时间内，流过单位面积的电量。

$$J = I/S$$

一般家用绝缘导线，如塑料电线、橡胶电线、漆包线等，常采用电流密度为 $J = (2 \sim 3) \text{ A/mm}^2$ ，以保证导线在有电流通过时发热量不过高，不致破坏其绝缘层造成危险短路事故。

例如，已知流过电线的电流为 10A，取电流密度为 2 A/mm^2 ，则电线导体截面积应为 5 mm^2 以上。若取 $J = 3 \text{ A/mm}^2$ 则导体截面积应大于 3.3 mm^2 以上，以此作为选购电线粗细的数据。铜导线每米电阻小， J 可取大些。铝导线每米电阻大， J 应取小些。

当然选择绝缘电线时，还应注意其电压不要超过其耐压值。否则电压高于其耐压值时，会造成绝缘层被击穿，造成危险短路事故。

因此，选购电源线时应注意其耐压值和导线截面积两个参数。然后再考虑其他方面，如价格、环境条件、单股或多股等因素。

第二节 库仑定律——点电荷的电场

一、电场力

带电物体间因带电荷而产生的作用力叫做电场力。电场力是矢量：有大小、有方向。用箭头指向表示其方向，用线段长短表示其大小。当带电体的尺寸远远小于两带电体的距离时，