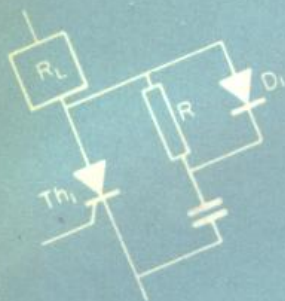
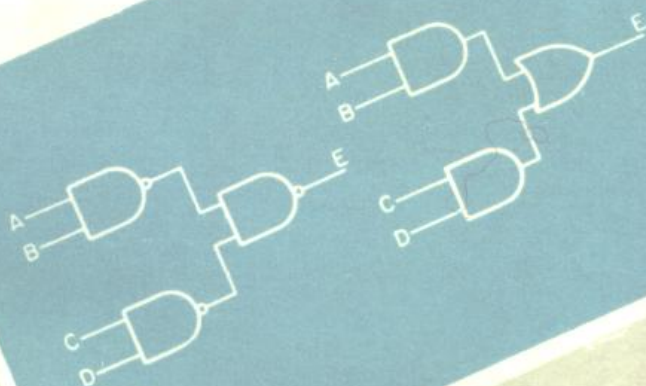


新技术、科学系列



电子学手册



E. A. 帕尔 编
电子工业出版社

7316
300
新技术、科学系列

电 子 学 手 册

〔英〕E A 帕尔 编

王昌泰 译

魏策军 校



科 学 出 版 社

1 9 9 0

9010179

D03-100

内 容 简 介

本书是新技术、科学系列之一,宗旨是用非数学的方法介绍电子学的基本原理及其广泛应用。主要内容有:电子物理、电子元件、集成电路、放大器、振荡器、数字电路、计算机、光电子学、通信、伺服系统、电磁器件、电子仪表、故障检测等。阅读本书只需具有中学数学知识。

本书对电子学爱好者或工作者都有较高参考价值。

E. A. Parr (ed.)

ELECTRONICS POCKET BOOK (4th ed.)

Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1981

新技术、科学系列

电 子 学 手 册

〔英〕 E. A. 帕尔 编

王昌泰 译

魏策军 校

责任编辑 王 旭 张邦固

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1990 年 4 月第一次印刷 印张: 11 1/8

印数: 0001—3 800 字数: 253 000

ISBN 7-03-001583-5/O · 319

定价: 8.40 元

前 言

《电子学手册》问世已经超过十七年了。这一段时间正是电子工业突飞猛进的时期。半导体技术已经从生产锗晶体管发展到能够生产微处理机芯片和 64K 随机存取存储器,而且由此引起了一场信息革命,其深远意义堪与 18 世纪末的那场工业革命相提并论。现在印出的本书第四版已全部改写过,就是为了反映出这十七年来的变化。

本书原来的宗旨未变,仍是对电子学所包括的许许多多课题作一种非数学的介绍。本书不敢说已经十全十美,但是无论对于专业工程师还是对于业余爱好者,都的确不失为一本很有价值的参考手册。

我要感谢我的妻子,同往常一样,是她把我的手稿全部变成了清楚整洁的打字稿。我还要感谢本书的三位编辑 J.P. 霍克 (Hawker)、J. A. 雷迪霍夫(Reddihow)和 P. J. 麦克戈德里克(McGoldrick),是他们仔细编辑出版了本书以前的各次版本,从而使《电子学手册》成为非常珍贵的参考书。

E.A.帕尔

目 录

第一章	电子物理	1
第二章	电子元件	11
第三章	集成电路	36
第四章	交流放大器	45
第五章	直流放大器	72
第六章	振荡器	87
第七章	数字电路	103
第八章	数字计算机	124
第九章	光电子学	151
第十章	通信	166
第十一章	伺服系统和控制器	218
第十二章	变换器	241
第十三章	电磁器件	261
第十四章	电子仪表	271
第十五章	电源	294
第十六章	检修、故障探测和安全措施	315
第十七章	参考数据	325
索引		337

第一章 电子物理

1.1 分子和原子

一切物质都是由分子组成的,而分子按照定义,是物质的能够独立存在,并具有物质全部性质的最小单元。道尔顿等人在 19 世纪初期通过研究指出,分子又是由各种类型的原子组合而成的。这些原子分属于各种基本元素,一切物质都是由元素组成的。元素有一百多种,其中包括从最轻的元素氢到最重的元素之一铀。

例如,食盐的分子是由一个钠原子和一个氯原子组成的。硫酸铜的分子是由一个铜原子、一个硫原子和四个氧原子组成的。

原子太小,用显微镜也难以直接观测到它们。不过,原子的存在和它们的性质可以根据实验推断出来。

1.2 原子的结构

关于气体放电效应的实验告诉我们,原子并非单个的实体,它本身又是由更小的粒子组成的。这些更小的粒子叫做基本粒子。一个原子就像一个小小的太阳系,它有一个由带正电的粒子和电中性的粒子所组成的非常重的原子核。这两种粒子分别叫做质子和中子。原子核外面是围绕它运动的称为电子的带负电的粒子所形成的电子云。

由于原子呈电中性,所以电子所携带的负电荷在数量上

必定等于（但符号相反）质子所携带的正电荷。用静电荷所做的实验表明，不同种类的电荷之间会相互吸引，因此可以认为，原子是靠静电力维系在一起的。

于是，各种原子之间显示出来的差别，是由它们的组成情况所决定的。一个氢原子由一个质子和一个电子组成。一个氦原子由两个质子、两个中子和两个电子组成。图 1.1 示出了这两种原子的结构。

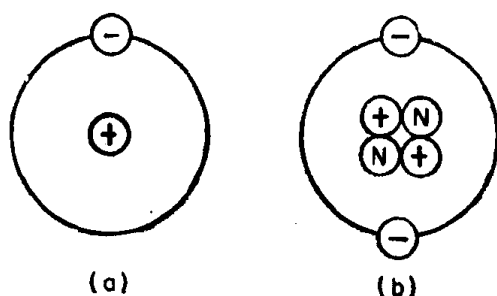


图 1.1 原子的结构。
(a) 氢原子；(b) 氦原子。

在本世纪初，玻尔等人的工作证明，电子轨道排列成若干个壳层，而且每一个壳层所能容纳的电子数目都有一个确定的最大值。第一壳层能够容纳两个电子，第二壳层能够容纳 8 个电子。每一个壳层所能容纳的电子数由 $2n^2$ 确定，这里 $n = 1, 2, 3$, 等等。

化学反应和电学效应都与原子外壳层中的电子的行为有关。例如，如果外壳层是满的，这个原子就不能与任何其它的原子发生反应；事实上这就是惰性气体，例如氦就是一种惰性气体。

1.3 电子和电子电流

如果最外壳层中的电子数目少，那么它们受原子核束缚

的力就弱。热效应很容易使这些电子分离，而留下一个带正电的原子。这些被分离出来的电子在物质内部各处漂流，直到它们遇到另一个带正电的原子，在那里它们又重新变成了被俘获的电子。自由电子产生和被俘获的过程不断地进行着，因而可以认为物质充满了带负电的电子气。

如果这时在物质的两边加上一个电势差，自由电子就将开始朝电位高的方向加速。在它们运动时，它们将与物质内部的原子相碰撞，并失去它们的能量，我们可以以热的形式观测到这种能量损失。净效应是电子以一个大致固定的速度朝电位高的方向漂移。电子的运动就是电流。

当电子在正极处被电势源移走时，电子在负极处不断地被注入。电势源能够被看作是“电子泵”的一种形式。

这一模型可以解释许多观测到的效应。如果电势的大小增大，电子就将加速得较快，因而它们的平均速度也就较高，即电流也就增大。电子和原子之间的碰撞将能量传递给原子，这一传递以热的形式表现出来，这一效应称为焦耳热效应。

一些材料，由于它们服从著名的欧姆定律

$$\frac{V}{I} = \text{常数}(R),$$

所以称它们为电阻导体。这一常数就是材料的电阻。如果 V 以伏特为单位， I 以安培为单位，则常数 R 以欧姆为单位。

并不是所有的导电性都是欧姆性的；热效应和其它一些效应使某些材料具有很复杂的 V/I 关系。

如果外层轨道中的电子被束缚得很牢固，所形成的自由电子的数量将可以忽略不计。如果加上一个电势差，将只有非常少的电子运动，因而电流将很小，具有这种特性的物质叫做绝缘体。

1.4 电子在电场中的运动

如果在真空中的两个平板之间加上一个电位差，并导入一个电子，那么这个电子就将受到正板的吸引力（图 1.2）。

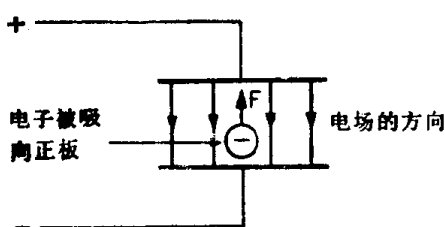


图 1.2 两平行平板之间的电场。

这一吸引力将使该电子沿着一条直线向正板加速运动。此电子并不与原子碰撞，因为两平板之间的区域是真空的，在热离子管中用的就是这一效应。

如果让电子进行某种运动，并且在垂直于电子运动的方向加上电场，就会发生一些有趣的效应。在图 1.3 所画的系统中，从一个叫做电子枪的装置中发射出一个电子束。这些电子沿着 x 方向运动。这些电子一出电子枪，便从两平板之间穿过，沿 y 方向在两板之间加有电位差。

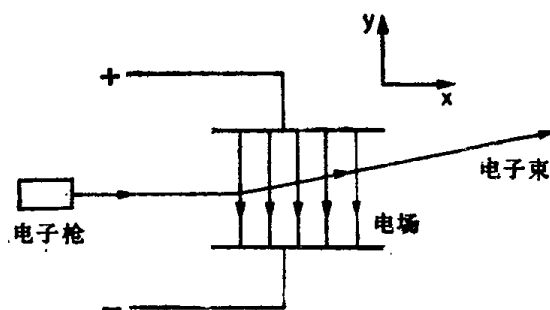


图 1.3 电子束的静电偏转。

当电子在两板之间通过时，正象以前所解释的那样，它们沿着 y 方向被加速，而它们沿着 x 方向的速度不变。因此，正象图中所示的那样，电子束受到了偏转。通过改变对平板所加的电位，便能够控制电子束偏转的角度。这一效应是阴极射线示波器的基础。

1.5 电子在磁场中的运动

一个运动着的电子实际上就是一个电子电流。用电动机所做的实验表明，磁场对载有电流的导线施加作用力，而且可以预期，对运动着的电子也会发生类似的效应。

由弗来明左手定则能够预言这种力的方向。一个电子在垂直于磁场运动时(图 1.4)，它将受到一个力的作用。这个力与磁场和电子运动的方向都成直角。由此可见，平行于磁场运动的电子不受磁场的影响。

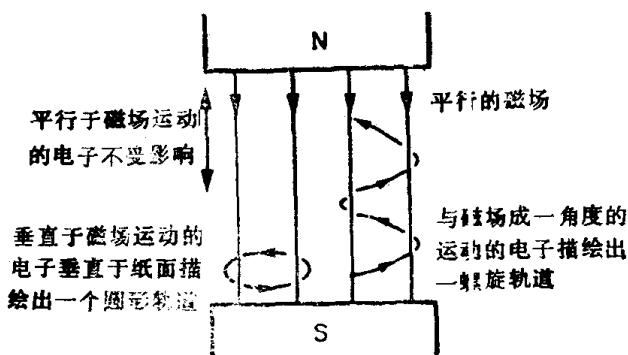


图 1.4 电子在磁场中的运动

电子在磁场中的运动和电场中的运动之间有一个很重要的差别。在电场中所受的力是沿一个固定方向的力，而在磁场中所受到的力则总是与电子的运动方向成一直角。

由此可见,射入一适当的磁场的电子,能够沿着场轴做螺旋上升。在电视显像管的磁聚焦线圈中就是用的这一效应。

1.6 物质的结构

物质能够以三种状态存在:固体、液体和气体。在液体和气体状态下,分子能够在各处自由运动。在固体状态下,分子是固定的,并且只能在它们的平均位置附近振动。我们把这种振动看作热振动。

我们观察到有若干种物质能够形成晶体,食盐和硫酸铜就是两个普通的例子。晶体的形成是因为原子本身排列成一个几何图形,晶体可以象我们的身体那么大,这一图案仍可以向外延伸。

然而,在原子水平上讲,大多数物质中的原子都是以结晶图案排列的。图 1.5 给出了锗的晶体结构图示,规则的图案是显而易见的。

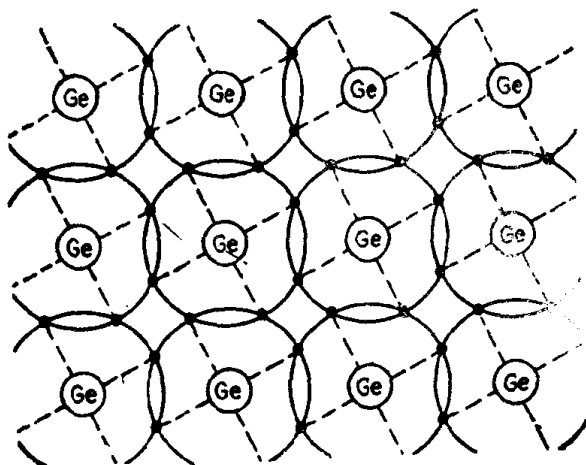


图 1.5 锗晶体示意图。

绝大多数电子器件都依赖于固体中的电导。正象我们早在 1.3 节中已看到的那样，物质的导电能力取决于它产生自由电子的能力。

元素硅和锗的原子在它们最外面的轨道上都有四个电子，这便产生了致密的金刚石型晶体。由于束缚得非常紧，纯硅和纯锗晶体都是相当好的绝缘体。

1.7 杂质半导体

虽然纯的硅和锗的晶体是相当好的绝缘体，但掺入少量的杂质就能够剧烈地改变它们的导电率。

图 1.6 是图 1.5 的一种变形，其中用一个砷原子代替了一个锗原子。这就叫做掺杂。砷原子的外壳层中有 5 个电子，虽然它将在晶体中“就坐”，但它将有一个电子由束缚电子变成自由电子。

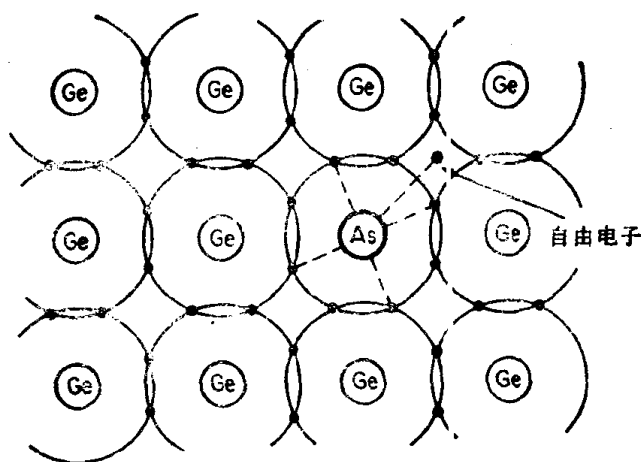


图 1.6 n型半导体示意图。

过剩的电子是可以移动的，当在物质的两端加上一个电

压时，它们能够很容易地变成载流子。用掺杂数量能很容易地控制可得到的自由电子数。这种杂质称为施主原子，掺杂后的物质称为杂质半导体。

在这种物质中是靠自由电子导电的，称其为 n 型半导体（用 n 代表负）。

如果引入外壳层中有三个电子的原子（例如硼、铟），也会发生类似的效应。排列如图 1.7 所示，因缺少电子而在这一结构中形成“空穴”。相应的未被束缚的电子可以自由地变成载流子。如果给这种物质加上一个电压，电子将向正极运动，显然空穴将以相反的方向运动。通常把运动的空穴也看作载流子。这类材料称为 P 型半导体（用 P 代表正），并称这种杂质为受主原子。

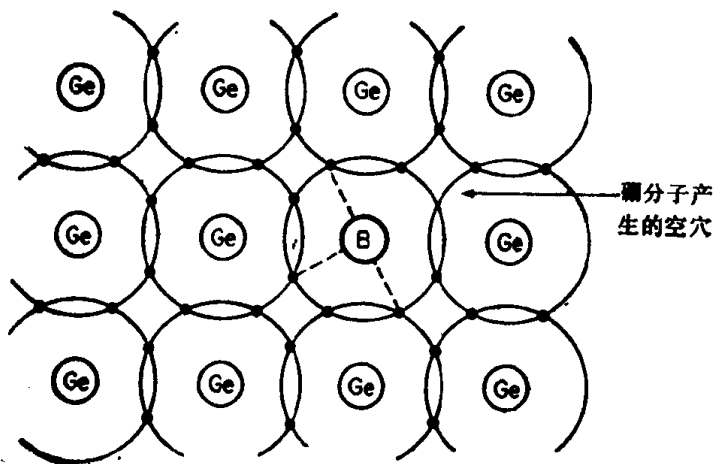


图 1.7 P 型半导体示意图。

同杂质在半导体中形成载流子一样，一般的热作用释放的自由电子也将形成载流子。后一种载流子显然是补充电子/空穴而存在的，并称其为少数载流子。用杂质引入的载流子称为多数载流子。

1.8 pn 结

图 1.8 所示的晶体,其一半掺杂成 n 型材料,另一半掺杂成 P 型材料。在结处,空穴将进入 n 型材料,电子将进入 P 型材料;直到在结的两边建立起一个电压为止。这一区域叫做耗尽层,此层中没有载流子,它形成一层绝缘体。

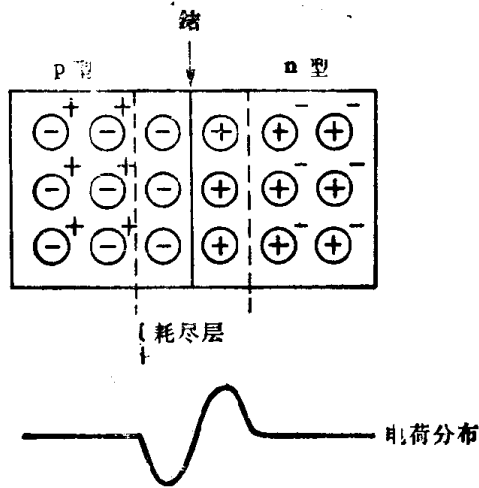


图 1.8 pn 结.

耗尽层上电荷的积累是一个局域效应,并没有发现 pn 结的两端有电压。然而,如果如图 1.9(a) 所示从 P 到 n 加上一个正电压,那么空穴将从 P 到 n 流过 pn 结,电子将从 n 到 P 流过 pn 结。电流在流动,器件在导电。

如果如图 1.9(b) 所示从 P 到 n 加上一个负电压,一些电子和空穴将被移走,这种作用是增加耗尽层的宽度。一个非常短暂的电流流动之后(相当于给一个小电容器充电),器件就变成了一个绝缘体。事实上,将有一个 1.7 节所描述的少

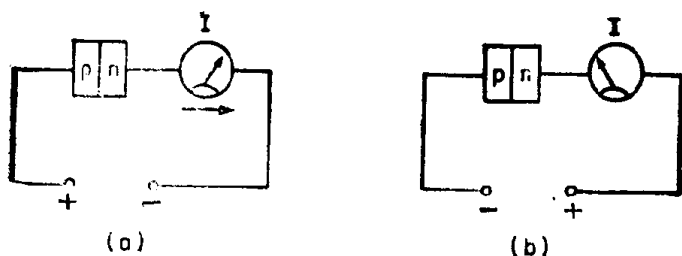


图 1.9 作整流器用的 pn 结。
(a)加正向偏压；(b)加反向偏压。

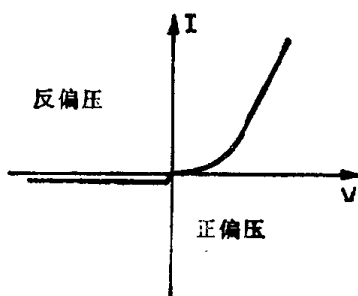


图 1.10 pn 结的特性曲线。

数载流子所引起的小的漏电电流。这一漏电电流通常可以忽略不计。

因此， pn 结有图 1.10 所示的不对称的 I/V 关系。我们将看到，开始导电需要一个小的正向电压。这一电压相当于耗尽层上的充电电压，锗大约是 $0.2V$ ，硅大约是 $0.7V$ 。

pn 结本身就是一个极好的整流器，但它也是以后各章中将要论述的更复杂的半导体器件的基础。

第二章 电子元件

2.1 电 阻 器

电阻器大概是电子电路中应用最广的一种元件。根据第一章中所提到的欧姆定律有

$$\text{电阻(以欧姆为单位)} = \frac{\text{伏特数}}{\text{安培数}}.$$

电阻器可用的阻值从零点几欧姆到几十兆欧姆。当电流通过电阻器时，能量将以热的形式被吸收，吸收的热量等于 $I^2 R$ 。电阻器的温度将升高，直到辐射的热量等于吸收的热量为止。这种温度升高限定了一个电阻器所能够耗散的最大瓦特数。

最简单(也是最廉价)的电阻器是炭型电阻器，这种电阻器由一个小炭棒构成，模压成所需要的阻值。炭棒通常是装在一个防护模中，在两端的轴线上装有两根接线。炭电阻器可从 $\frac{1}{8}$ W 到 2 W，其阻值可从几欧姆到 $1\text{M}\Omega$ 。

这种电阻器的阻值随温度的变化而变化。在温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 的阻值由下式给出：

$$R_t = R_{20}(1 + \alpha t),$$

式中 R_{20} 是在 20°C 时的阻值， α 被定义为温度系数。

炭电阻器有很大的负温度系数。于是，加热热效应能够变成一种累加效应，因而在精确度要求很高的场合，不适宜用炭电阻器。

采用另一种应用炭电阻的方法便能够获得较大的稳定性，那就是在一个绝缘的线圈架上淀积一层炭的薄膜。这种电阻器叫做薄膜电阻器，并能够精确地控制炭膜的结构，使其适合于高精度的应用。

在需要大瓦数的地方，必须用线绕电阻器。将所需长度的细导线绕在一个线圈架上，然后再覆盖上一层防护釉瓷。这种结构必然会使这种电阻器有一个很大的电感。能够用没有电感的双线绕法来减小这种电感，但不能完全消除电感。

各种可变电阻器也是用类似的方法制造的。低瓦数的可变电阻器有一个炭轨道和一个在其上移动的滑动触头；高瓦数的可变电阻器通常是用导线绕制成的。这两种类型的可变电阻器都有一些固有的问题：炭可变电阻器在使用中会产生炭末，而且炭轨道易于损坏；所需要的各种形式的线绕可变电阻器，很多都不能给出足够高的分辨能力。

可变电阻器可做成线性的或对数的形式。线性可变电阻器的滑动触头的位置和阻值之间有一简单的线性关系。对数可变电阻器服从 $\log$ 曲线，并被用作音量控制，以补偿人耳对声音的特殊响应。

2.2 电 容 器

电容器的结构由方程

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

决定，式中 A 是电容器两个平板的面积， ϵ 是两板之间的材料的介电常数， d 是两板之间的间隔(图 2.1)。

一般说来，平行板电容器的容量是满足不了实际电路的