

简明电子电工基础

肖元恺 编

吉林人民出版社

TM13
18
3

简明电子电工基础

肖元恺 编

B2 78/15



吉林人民出版社

A 899738

内 容 提 要

本书介绍了学习电子技术所必备的电路理论，并在此基础上，结合实际，着重于各种电子线路的分析和应用。内容有电路中的一些基本物理概念、电路的基本定律、计算电路的基本方法、以及储能元件电路、交流电路和放大元件电路的分析和应用。

本书可作为电工或电子技术培训的基础教材，也可作为业余爱好者的自修读物。

简明电子电工基础

肖元恺 编

*

吉林人民出版社出版 吉林省新华书店发行

长春市第五印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 9 1/2印张207,000字

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数：1—255,600册

书号：13031·101 定价0.86元

前 言

随着我国四个现代化的进程，电子技术迅速地遍及生产和生活的各个领域，需要掌握电子技术的人也越来越多。掌握电子技术，先要熟悉有关的电工基础知识。为使读者在较短的时间内，学到必要的电工基础理论及其在电子线路中的应用，本书将电工基础中的主要内容和电子线路中的一些常见问题结合起来阐述。

考虑到近年来电路理论的更新和发展，本书相应地突出了一些有关内容，如电位计算、恒压源、恒流源、受控电源和运算放大器等。这样，不仅丰富了电路理论，而且能使读者尽早的在电子线路中正确地运用电路理论。

本书在编写过程中，董天正、刘锡海等同志给予大力帮助。在此表示感谢。

书中错误之处，请读者批评指正。

编 者

1981. 1

目 录

第一章 电路中的一些基本物理概念

- § 1—1 电荷和半导体中的载流子..... 1
- § 1—2 电场..... 6
- § 1—3 几种电子器件中的电场..... 9
- § 1—4 电位和电压、电源和电势..... 13
- § 1—5 电流..... 18
- § 1—6 电路和电路中的电流电压正方向..... 21

小结

思考题及习题

第二章 分析电路的基本定律

- § 2—1 欧姆定律和电阻的功率..... 27
- § 2—2 非线性电阻中的电流电压关系
和晶体管的特性曲线..... 32
- § 2—3 克希荷夫电流定律和晶体管中的电流关系..... 38
- § 2—4 克希荷夫电压定律和单管放大电路的参数计算..... 43

小结

思考题及习题

第三章 电路的分析及计算方法

- § 3—1 电阻的串、并联及其应用..... 56
- § 3—2 电路中的电位计算和电位控制电路..... 67
- § 3—3 计算复杂电路的支路电流法..... 73
- § 3—4 节点电压法..... 78
- § 3—5 迭加原理..... 84
- § 3—6 实际电源和理想电源..... 86

§ 3—7	电源的等效变换和含源支路的串联、 并联及混联·····	91
-------	--------------------------------	----

§ 3—8	等效电源法·····	98
-------	------------	----

小结

思考题及习题

第四章 储能元件电路

§ 4—1	电容元件及其选用·····	118
-------	---------------	-----

§ 4—2	电容器的并联和串联·····	122
-------	----------------	-----

§ 4—3	电容器的电压与电流关系·····	126
-------	------------------	-----

§ 4—4	电容器充、放电过程中的电流、 电压变化规律·····	129
-------	-------------------------------	-----

§ 4—5	过渡过程的三要素和方波电压作用下 电容器充放电波形的描绘·····	138
-------	--------------------------------------	-----

§ 4—6	电子技术中常用的几种 RC 电路·····	144
-------	-----------------------	-----

§ 4—7	电流产生的磁场·····	150
-------	--------------	-----

§ 4—8	电磁感应·····	153
-------	-----------	-----

§ 4—9	电感和电感线圈中的电流电压关系·····	157
-------	----------------------	-----

§ 4—10	互感和互感线圈的极性·····	162
--------	-----------------	-----

§ 4—11	变换器和参数匹配·····	166
--------	---------------	-----

§ 4—12	RL 电路的过渡过程·····	171
--------	-----------------	-----

§ 4—13	电子线路中常用的几种电磁器件·····	175
--------	---------------------	-----

小结

思考题及习题

第五章 交流电路

§ 5—1	正弦交流电的概念·····	192
-------	---------------	-----

§ 5—2	单一参数交流电路·····	205
-------	---------------	-----

§ 5—3	交流电路中的实际元件·····	213
-------	-----------------	-----

§ 5—4	RLC 串联电路·····	215
-------	---------------	-----

§ 5—5	RLC 电路的串联共(谐)振和频率特性·····	217
-------	--------------------------	-----

§ 5—6	LC 并联电路及并联共(谐)振·····	224
§ 5—7	交流电路的复数表示法·····	228
§ 5—8	用复数分析RC 串联电路的频率特性·····	239
§ 5—9	三相电源·····	247
§ 5—10	非正弦交流电的概念和电源滤波电路·····	250

小结

思考题及习题

第六章 放大元件电路分析

§ 6—1	概述·····	267
§ 6—2	晶体管简化等效电路·····	268
§ 6—3	运算放大器·····	275
§ 6—4	含有受控电源的电路分析法·····	281
§ 6—5	非线性电路的图解分析法·····	286

小结

思考题及习题

附录:

附表1 常用国产灵敏继电器的特性数据

附表2 几种国产舌簧继电器的特性参数

第一章 电路中的一些基本 物理概念

电荷、电场的概念和电流、电压、电位、电势等物理量，是电子线路中经常遇到和研究的对象。本章从电子线路应用的角度出发，求得对它们的正确理解和运用。

§ 1—1 电荷和半导体中的载流子

1. 从摩擦带电的实验说起

通过日常生活和生产活动，人们对电已有一定的认识，为了深入讨论电的本质，不妨自己动手先做三次简便的摩擦带电实验：

(1) 将钢笔的塑料笔杆在头发上摩擦几次，然后把它靠近撕碎的纸屑，它将吸动纸屑，如图 1—1 (a) 所示；

(2) 手拿塑料笔杆（不要接触金属部分），将钢笔的金属笔帽在头发上摩擦几次，摩擦过的笔帽也能吸动纸屑，如图 1—1 (b) 所示；

(3) 如果手拿金属笔帽在头发上摩擦，摩擦过的笔帽却不会吸动纸屑，如图 1—1 (c) 所示。

在 (1)、(2) 两次实验中，塑料笔杆和金属笔帽所

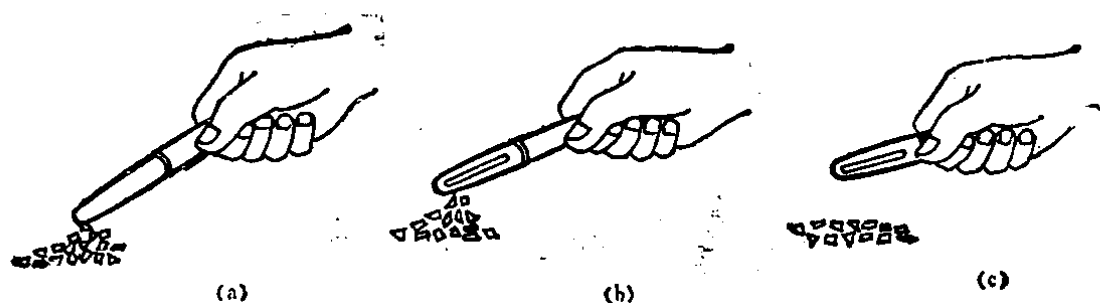


图 1—1 摩擦带电实验

以能吸动纸屑，是由于它们经过摩擦后带了电荷的缘故。在第三次实验中，笔帽不吸引纸屑，并非摩擦不带电荷，而是金属笔帽摩擦所得的电荷经人体转移到大地上去了，使笔帽不显电性。

摩擦带电的事例和物理学的许多实验证明：电荷是一种客观存在的物质，并有正电荷和负电荷之分；电荷之间存在着作用力，作用力的特点是同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引（见图 1—2）。

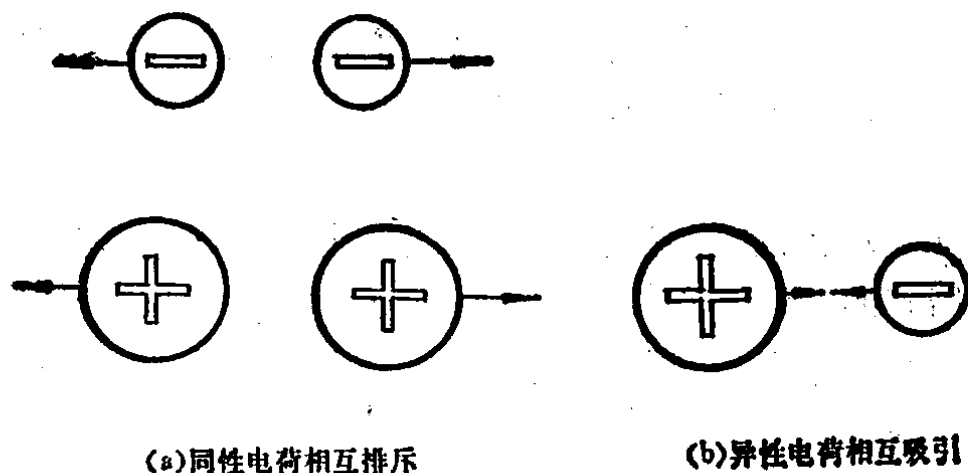


图 1—2 电荷之间的作用力

电荷所带电量的大小，用“库仑”（c）作为衡量单位，一库仑电量约为 624 亿亿个电子所带的电量。表示电量的符

号是Q或q。

2. 不同物质的导电性能

通过摩擦带电的实验知道，塑料能保留住摩擦所得的电荷；金属和人体却能把摩擦所得的电荷转移走。它们为什么会有这种差别呢？这要从物质的电结构去解释。图1—3是几种物质的原子结构平面示意图，由图可知，不同物质的核

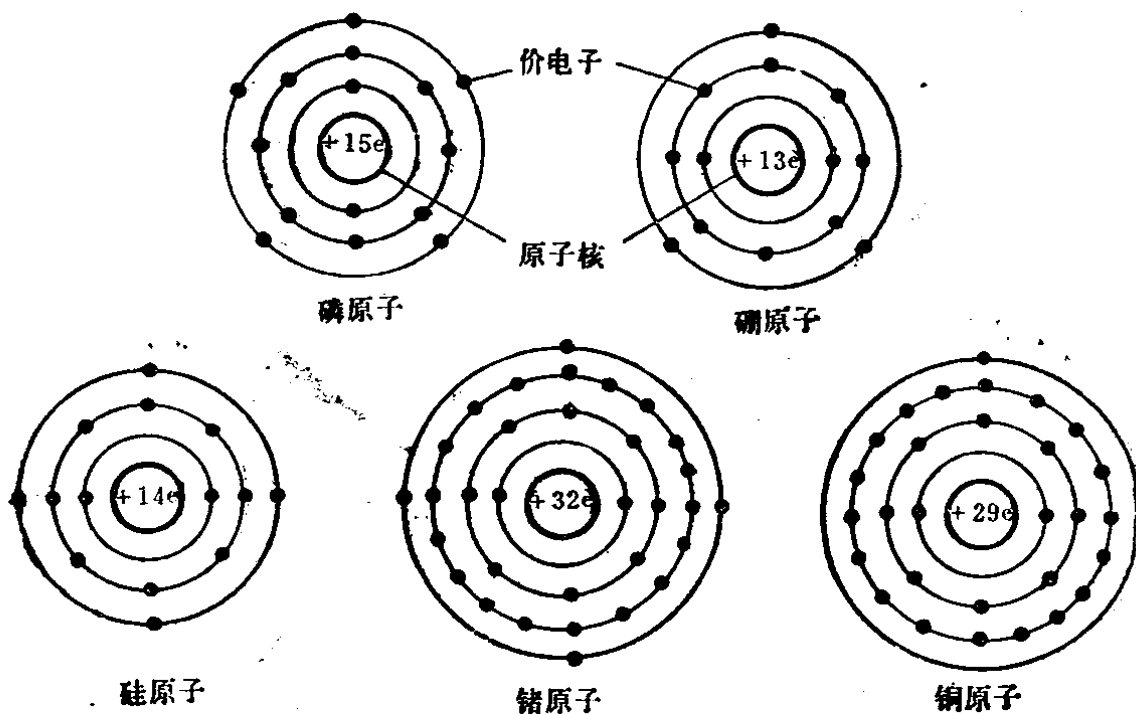


图 1—3 几种原子结构的平面示意图

外电子数和排列方式各不相同。铜原子有 29 个核外电子，分四层排列，最外层只有一个电子（最外层的电子称为价电子）；硅原子有 14 个电子，最外层有四个价电子。

许多金属的原子和铜原子相似，最外层的价电子离原子核远，受原子核吸引力的束缚最小，因而外层电子很容易从运行轨道上挣脱出来，成为自由电子。自由电子不再属于某特

定原子，它可以在各原子间自由运动。由于铜、铝等金属中存在许多能携带电量运动的自由电子（能携带电量运动的电子或粒子称为载流子），而具有很好的导电性能，被广泛用作导电材料。

塑料、橡胶、陶瓷等物质，由于它们的原子核对电子的束缚力很强，很难形成自由电子，不导电。因而被用作绝缘材料。

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体，如硅、锗等。半导体之所以得到广泛应用，是由于它的导电性能易受外界条件的影响和控制，而具有很多独特的性能和优点。

3. 半导体中的载流子

半导体所以具有许多独特性能，是因为它们的载流子构成情况与金属不同。

在纯净半导体（也称本征半导体）硅或锗中，原子最外层的四个价电子，不仅受自身原子核的束缚，也受相邻原子核的束缚，使每两个相邻原子之间都共有一对价电子（见图 1—4）。两个原子核在这些成对电子之间形成的束缚力（称为共价键），象链条似的把各原子连在一起，所以纯净半导体不象金属导体那样容易形成自由电子，导电性能不好。

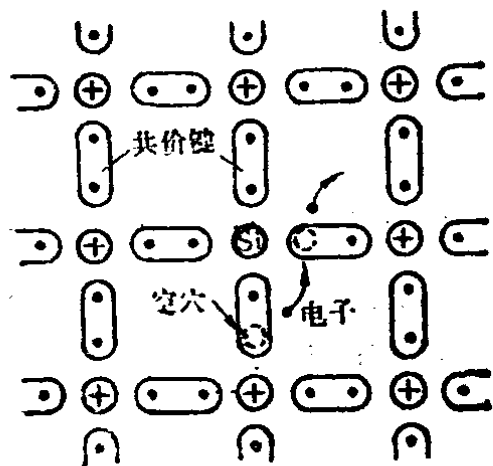


图 1—4 单晶硅中的共价键结构示意图

为了提高半导体的导电能

力，必须在纯净半导体中掺入某些杂质，使半导体中的载流子增加。如果在纯硅（或纯锗）中掺入外层有五个价电子的磷原子，见图 1—5（a），磷原子只有四个价电子与硅原子共用（组成共价键），另一个就成为多余的价电子，这个电子不受共价键束缚，只受磷原子束缚，很容易成为自由电子。这样每掺入一个磷原子，就可能产生一个自由电子，所以在掺磷的半导体中含有许多自由电子。我们把这种主要靠电子导电的半导体称为 **N 型半导体**。

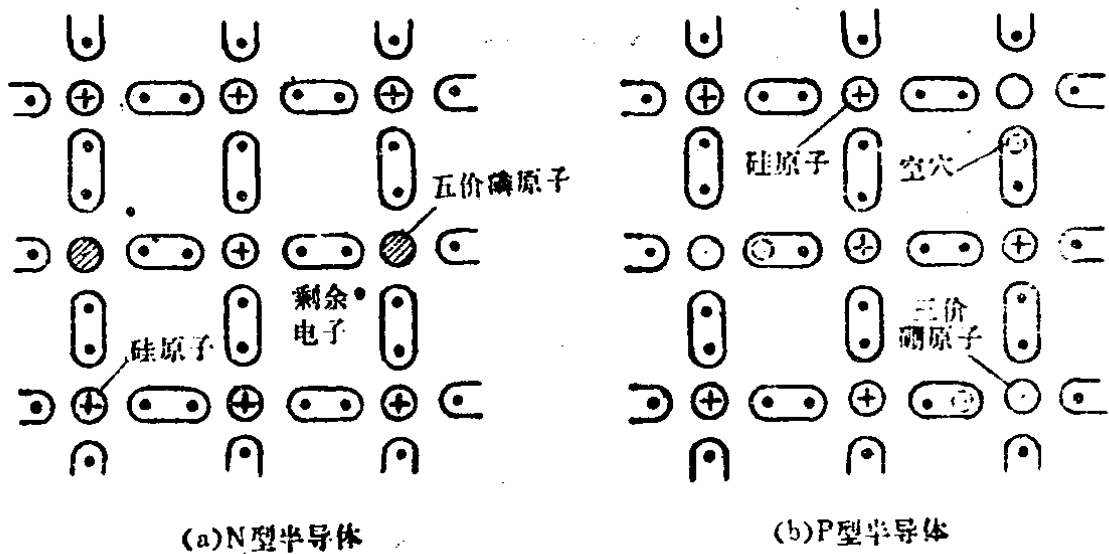


图 1—5 两种不同类型的半导体

把外层只有三个价电子的硼原子掺到纯硅中时，由于少了一个价电子与硅原子共用，在缺少电子的那个空位就形成了一个空穴（呈正电荷性质）。这样每掺入一个硼原子，就可能产生一个空穴。在掺硼的半导体中含有许多空穴，主要靠空穴导电，这种半导体称为 **p 型半导体**，见图 1—5（b）。

由上可知，半导体中不仅有电子做载流子，而且空穴也是载流子，这些载流子的形成和数量又是受外界掺杂所控制的。这就是半导体导电机理的重要特点，也是它与金属导电

机理不同之处。

§ 1—2 电 场

1. 电场和电场力

在图 1—1 的实验中已经看到，带电的笔杆无需与纸屑接触就能吸动纸屑；同样，电荷之间的吸力或斥力也无需电荷相互接触就能传递。这些现象说明：在电荷或带电体周围存在着一种特殊的物质，称为**电场**。电荷之间的作用力就是电场产生的，称为**电场力**。

通常用电力线来形象的描述电场，图 1—6 是带电球体

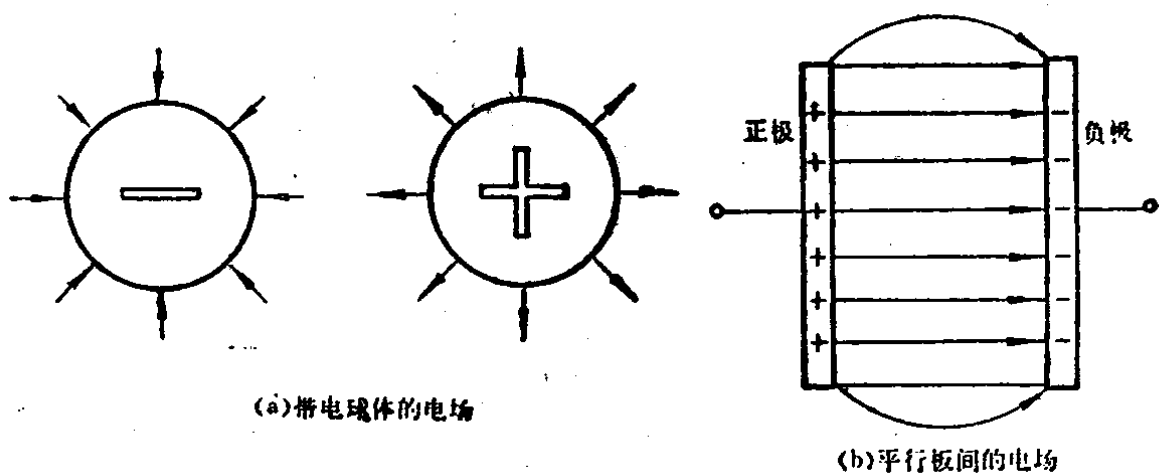


图 1—6 电场

及平行板的电场。电力线的方向代表电场的方向。由于正、负电荷在一个电场中受力方向不同，因此规定：正电荷的受力方向为电场方向。所以电场的方向是从正电荷（或正极板）出发，到负电荷（或负极板）终止，即由正极到负极。

2. 电场强度

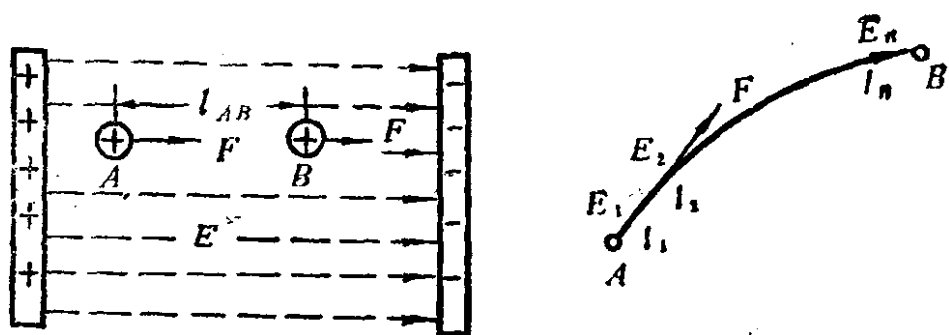
电场中各点电场力的大小和方向是不同的。某点电场的强弱采用单位正电荷在该点受力的大小,即电场强度来衡量。

$$\text{电场强度 } (E) = \frac{\text{电场力 } (F)}{\text{电荷量 } (Q)} \quad (1-1)$$

由于力是一种有大小又有方向的量,所以式中的电场强度是向量。

3. 电压

电场强度虽然能描述电场的性质,但在工程中,计算或测取导体中某点的电场强度往往是困难的。因此常用电场力搬移电荷做功的大小来表达电场的存在和作用,这就是人们所熟悉的电压。如图 1—7 (a) 所示,电场力把单位正电荷从一点 A 移到另一点 B 所做的功,称为 AB 两点之间的电压。



(a)在均匀电场中

(b)在非均匀电场中

图 1—7 电压

根据力学的知识知道,力移动物体时就会做功,做功的多少为:功 = 力 × 距离。由于单位正电荷所受的力就是电场

强度 E ，当电荷在电场的作用下，移动的距离为 l_{AB} 时，则 AB 两点间的电压为

$$U_{AB} = El_{AB} \quad (1-2)$$

上式只有在图 1—7 (a) 所示的均匀电场（电场强度 E 处处相等的电场）中才成立。

实际的电场是复杂的，各点的电场强度是不同的。在这种情况下，把 AB 分成许多很短的距离（见图 1—7 b），并认为在这些很小的距离内，电场是均匀的。这样，将各小段内的电场力所做的功加在一起，便是 AB 两点间的电压，即

$$U_{AB} = E_1 l_1 + E_2 l_2 + \cdots + E_n l_n = \sum E l \quad (1-3)$$

式中 $\sum$ 是求和的符号。显然，把 AB 分割得越多，每段距离越短，该段距离中的电场就愈有理由认为是均匀的，按上式求得的电压就越准确。当把 AB 分成无穷多段，每段距离是微小的 dl 时，再求各段电场力做功之和，就得到了最准确的电压表达式——积分表达式，即

$$U_{AB} = \int_A^B E dl \quad (1-4)$$

式中 $\int_A^B$ 表示由 A 到 B 之间求和的积分符号。

对于不熟悉微积分的读者，初步理解积分的含意就是上述对变化量求和的精确方法，这对今后的学习是必要的，至于积分式如何运算，学习本书可不考虑。

由上可知，电压不仅反映了电场强度，也反映了电场力沿 l 的作用距离。由于电压可以从导体外部 AB 两点测得，所以研究电路时，用电压的概念比用电场强度的概念方便得多。

电压的方向规定为由正极到负极，与电场方向一致。如 U_{AB} 中的下标字母表示电压方向由 A 到 B 。

度量电压的单位是“伏”，用字母 V 表示。1 伏 = 1000 毫伏 (mV)，计量高电压时用“千伏”，1 千伏 (kV) = 1000 伏。

§ 1—3 几种电子器件中的电场

电场的存在和变化，是电路和电子器件工作的物理基础。下面通过几个例子进一步熟悉电场的概念及应用。

1. 示波管中的偏转电场

图 1—8 是一种用来显示图象的示波管原理结构图。加热灯丝发射出来的电子，被高压电场聚集成一束电子流。当这束电子流射进偏转板的空間时，如果在纵偏转板加上电压，使上面的极板为正，下面的极板为负，它们所建立的电场，将使带负电的电子流受到向上吸引的电场力的作用，而射向荧光屏的上方；反之，当上极板为负，下极板为正时，电子流将受到向下偏转的电场力作用，而射向荧光屏的下方。同理，在横偏转板加上电压时，电子流将受横偏电场

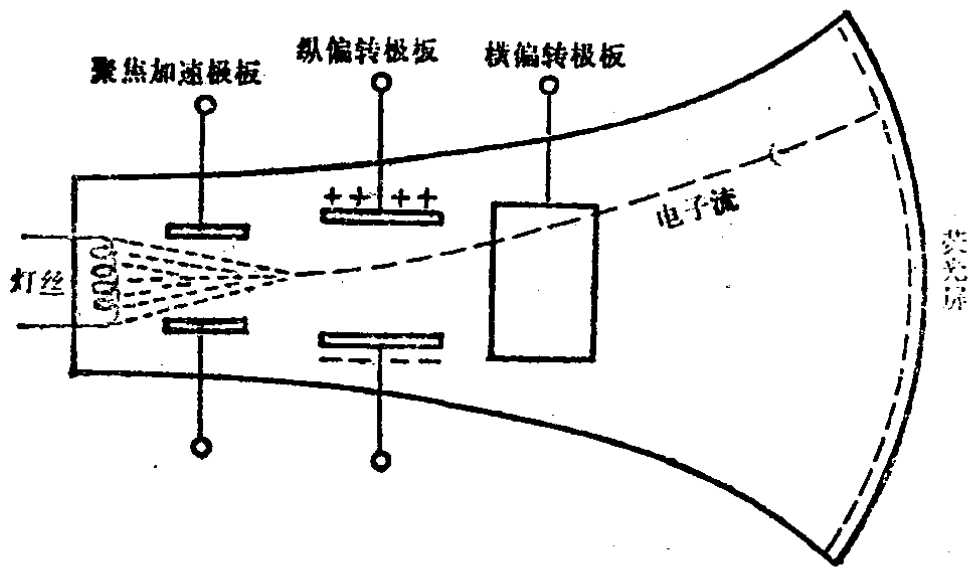


图 1—8 示波管中的电场

力的作用，进行左、右偏转。电子流偏转的方向由偏转极板

所加电压的极性决定，偏转的程度由偏转极板所加电压的高低决定，只要使纵、横偏转板上的电压极性和高低随信号变化，电子流的偏转规律和它落在荧光屏上所显示的亮点也将随信号而变化。所以示波管可以用来显示信号图象。

2. PN结中的电场

PN结中的电场是许多半导体器件工作的共同基础，熟悉它的形成原因和它对载流子的作用，是掌握各种半导体器件工作原理的关键。

如果在一块纯半导体中，在其一侧掺磷形成N型半导体区，另一侧掺硼形成P型半导体区（见图1—9），就会由于交界面两侧的异性载流子浓度分布不同，在界面附近，N区的电子会越过界面扩散到P区去填补空穴，P区的空穴也会扩散到N区去与电子复合。这样，在靠近界面的N区，由于电子跑到了P区，使磷原子带了正电，又因磷原子不能移

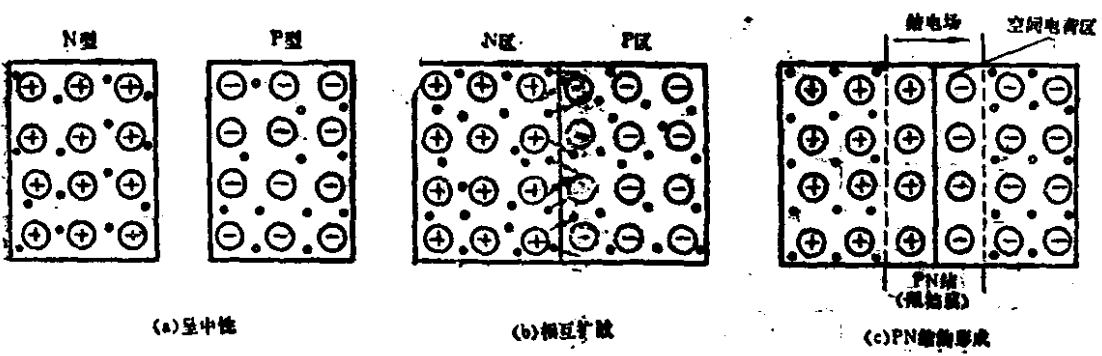


图 1—9 PN 结的形成

动而留在原处，形成了正电荷区。同理，在靠近界面的P区，由于空穴跑到N区，使硼原子带负电并留在原处形成负电荷区。于是，在界面附近产生了N区侧带正电荷，P区侧带负电荷的空间电荷区，它就是PN结。