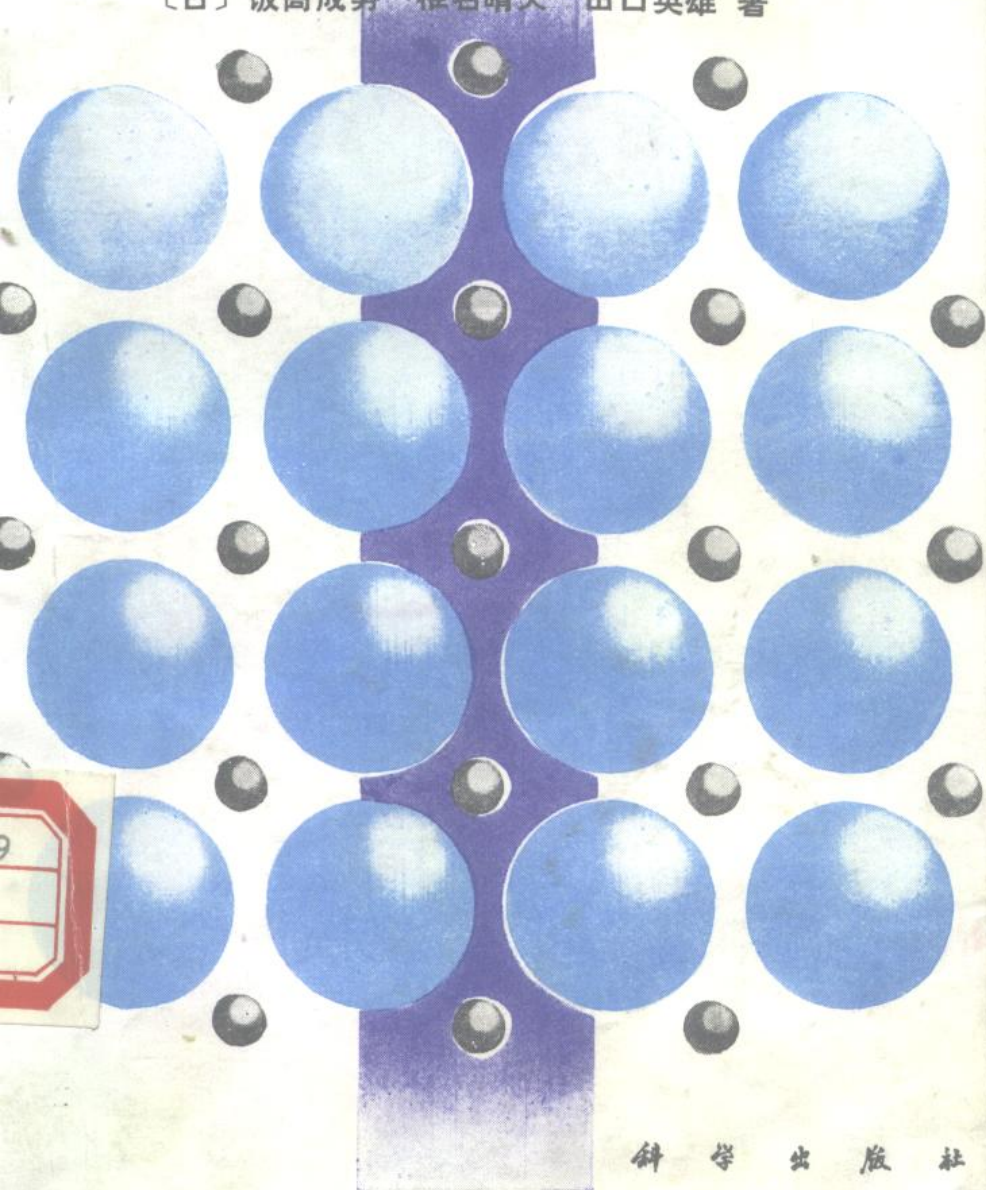


图解晶体管电路

〔日〕饭高成男 椎名晴夫 田口英雄 著



科学出版社

73.767
679

图解晶体管电路

饭高成男

〔日〕椎名晴夫 著

田口英雄

张德春 译

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书以图解的新颖形式介绍了半导体的性质、晶体管的基础知识以及各种晶体管电路。为使读者便于理解和应用,书中绘出了大量的形象图例以及实验连接图并给出必要的数值。书中所选取的例题大部分是收音机、电视机和一般电子设备常用的晶体管电路。

本书读者对象是机电类中等专业学校、技工学校师生和工矿企业的工人、技术员以及电子技术爱好者。

飯高成男 椎名晴夫 田口英雄 共著

絵ときトランジスタ回路

オーム社,1984

图解晶体管电路

〔日〕 飯高成男 椎名晴夫 田口英雄 著

张德春 译

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北 京 朝 阳 门 内 大 街 137 号

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

1988年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1988年8月第 一 次印刷 印张: 6 1/4

印数: 0001-9,870 字数: 140,000

ISBN 7-03-000436-1/TN·25

定价: 2.10元

前 言

自1948年美国贝尔电话研究所M.肖克莱(M. Shockley)发明晶体管以来,至今已有三十多年的历史了。在此期间,晶体管经过不断的改进、发展,已经成为电子技术的中心。我们认为,就是在今后,晶体管也将永久地存在下去。

不用详述,集成电路是今天电子技术的最先进技术,但是集成电路代替不了所有的晶体管。例如,现在生产的彩色电视接收机,仍在使用很多晶体管。假设即使集成电路代替了晶体管,为了理解集成电路的工作原理,也需要深入地理解晶体管的工作原理,因为集成电路的原理是晶体管原理的发展。

本书通过实验和实习,使学习晶体管电子技术的读者便于理解和应用。为了使读者易懂易学,本书开始讲述半导体性质,它是晶体管的基础;在理解巧妙地应用这些性质制造的半导体二极管和晶体管工作原理的基础上,再以晶体管的工作原理为中心,介绍晶体管放大电路、功率放大电路、高频放大电路、振荡电路、变频电路、调制解调电路、电源电路、脉冲电路等。书中尽可能大量使用照片和图解,并由于用了彩色印刷,增加了读者的直观感觉。

本书可以作为晶体管电路入门的学习参考书,也可以作为讲义灵活使用。作者希望本书能增加读者学习电子技术的兴趣,培养读者解决实际问题的能力。

本书所搜集的资料,参考了前辈的著作,并对鼓励和指导我们的欧姆出版社各位表示深切的谢意。

著 者

1984年4月

目 录

第一章 半导体的性质.....	1
1. 半导体中活跃的电子.....	1
2. 半导体是电子技术的主要角色.....	6
3. 可以用一个 $p-n$ 结组成半导体二极管.....	10
4. 特殊二极管和二极管的使用方法.....	14
第二章 晶体管的工作原理.....	21
5. 晶体管是 p 型和 n 型半导体的组合.....	21
6. 晶体管工作原理.....	23
7. 晶体管的使用方法.....	27
8. 用静态特性曲线分析晶体管电压和电流之关系.....	33
第三章 晶体管放大电路的基础.....	37
9. 简单放大电路的工作原理.....	37
10. 偏压的必要性和偏压电路.....	41
11. 怎样确定偏置电路的电阻值.....	45
12. 用特性曲线求偏置和放大倍数的方法.....	49
13. 用晶体管的四个参数表示晶体管的等效电路.....	53
14. 应用等效电路求放大倍数的方法.....	58
第四章 各种放大电路.....	65
15. 两级 RC 耦合低频电压放大电路.....	65
16. 负反馈放大电路.....	70
17. 射极输出器放大电路和直接耦合放大电路.....	74
第五章 功率放大电路.....	81
18. 功率放大电路的基本知识.....	81
19. 甲类功率放大电路.....	86
20. 乙类推挽功率放大电路.....	91
第六章 高频放大电路.....	99

21. 用调谐电路选择信号	99
22. 调谐型高频放大电路	104
23. 高频放大受分布参数影响	106
24. 收音机的高频 (RF) 放大电路	111
25. 只放大中频信号的放大电路	114
26. 高频功率放大电路	117
第七章 振荡电路	121
27. 用正反馈获得持续振荡	121
28. 使用变压器的调谐型振荡电路	126
29. 哈脱莱型和科耳皮兹型振荡电路	128
30. 频率稳定的晶体振荡电路	132
31. 用 R 和 C 正反馈的 RC 振荡电路	134
32. 振荡电路的稳定	137
第八章 变频电路	142
33. 变频电路	142
第九章 调制电路和解调电路	148
34. 调制和解调	148
35. 调幅波和单边带调制的调制、解调电路	150
36. 调频波的调制和解调	154
第十章 电源电路	160
37. 将交流变换为直流的电路	160
38. 消除波纹的平滑滤波电路	165
39. 输出电压保持恒定的稳压电路	168
第十一章 脉冲电路	172
40. 什么是脉冲	172
41. 波形整形电路	176
42. 微分、积分电路	180
43. 脉冲发生电路	182
44. 三种多谐振荡器	186
译后记	192

第一章 半导体的性质

内 容 提 要

半导体是介于象铜那样的良导体和象橡胶那样的不导电的绝缘体之间的物质。

用半导体制造的器件有二极管、晶体管、集成电路等，这些半导体器件首先在收音机、电视机等家用电器中得到应用，现在在汽车、电子计算机等方面也得到广泛应用。为了深入理解这些半导体器件的工作原理，首先必须了解半导体器件的性质。

本章首先研究半导体中活跃的电子的运动，半导体种类及其构成。然后学习 pn 结形成的二极管的工作原理，为理解下一章的晶体管的性质和工作原理打下基础。

1. 半导体中活跃的电子

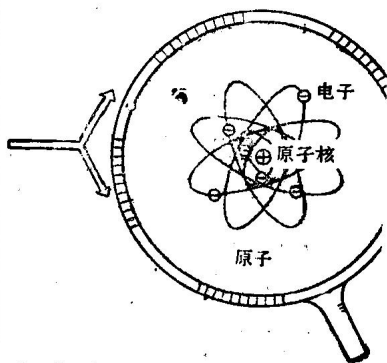
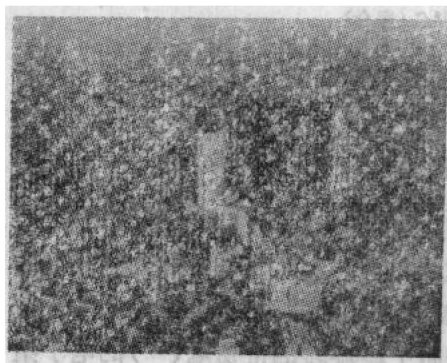


图1.1 一切物质都可以由原子组成

8910135

: 1 :

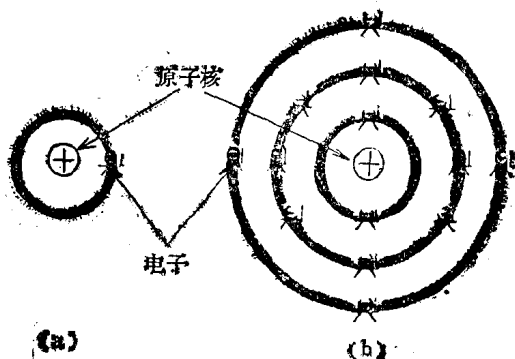
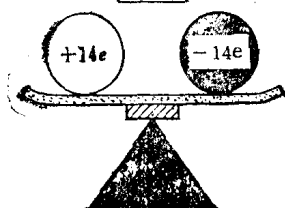


图1.2 原子的平面模型

原子核的电量 = 电子全体的电量

中性



$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (库仑)

图1.3 硅原子的电量

〔1〕 电子在原子之中

我们身边的一切物质,由大约一百多种原子组成。“原子”(atom)是由希腊语翻译过来的,其含义为不能再分割的物质最小组成部分。但是,发现了电子以后,才知道原子由中心带正电(+)的原子核和围绕原子核旋转的带负电(-)的电子组成的(参看图1.1)。

图 1.2(a) 为氧原子的平面模型, (b) 为硅原子的平面模型。氧有1个电子, 硅有14个电子, 并分别按照已定的轨道旋转。每个原子的原子核所带的正电量和电子全体所带的负电量相等, 一般不具备带电性质, 处于中性状态(参看图1.3)。

原子核和电子的大小约是原子的几万分之一(参看图1.4)。因此可以认为原子象一个足球, 电子在原子中自由运动。

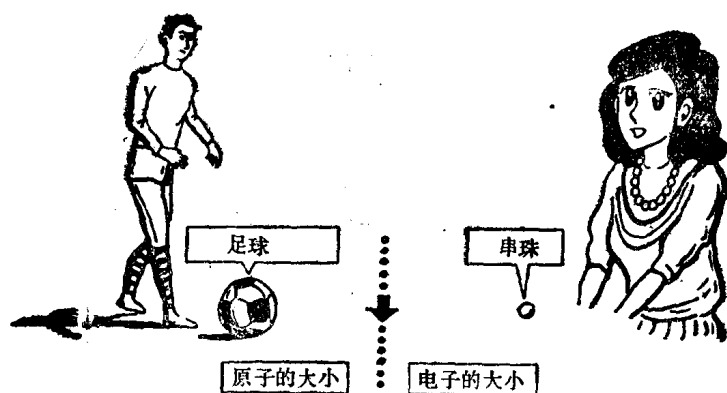


图1.4 电子的大小是原子的几万分之一

[2] 电子也是半导体中活跃的自由电子

如图1.2所示, 电子围绕原子核的几层轨道旋转。进入某个轨道的电子数, 分别由各自的轨道决定。其中, 最外层轨道上的电子叫做价电子。硅原子有4个价电子。

靠近原子核轨道上的电子, 被原子核牢牢吸引住, 但是最外层轨道上的价电子, 因为原子核对它吸引力减弱, 容易脱离轨道。将脱离原子核束缚的价电子叫做自由电子(参看图1.5)。

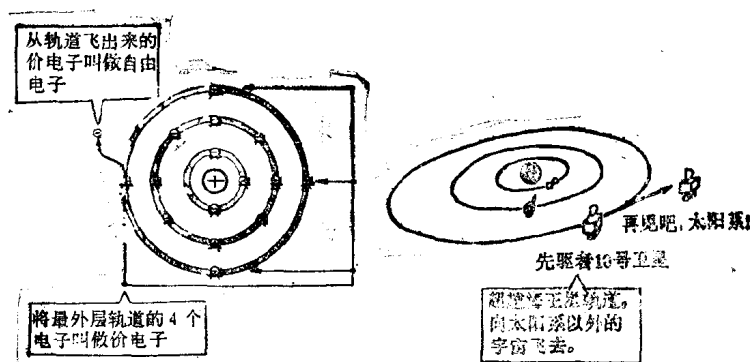


图1.5 硅原子的价电子和自由电子

[3] 自由电子飞出后, 留下带正电的空位

前面, 我们只是分析了原子。下面分析将原子集合在一起、组成单晶时的情况。

图1.6表示当用硅半导体材料制成单晶时, 其原子排列就

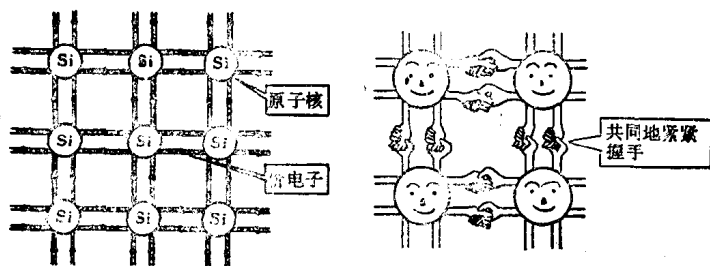


图1.6 硅单晶

由杂乱无章的状态变成了非常整齐的硅单晶结构。每个原子最外层的4个电子, 不仅受自身原子核的束缚, 还与周围相邻的4个原子发生联系。每两个相邻的原子之间都共有一对价电子。电子对中的任何一个电子, 一方面围绕自身原子核运动, 另一方面也时常出现在相邻原子所属的轨道上, 这样的组

合,叫做共价键结构。

当给这种单晶加上电压或热能,或光能,则由于能量作用,共有电子(价电子)脱离原子核的束缚而变成自由电子,它可以在单晶中自由运动。

共有电子在挣脱束缚变成自由电子后,同时留下一个空位,附近的共有电子很容易填补这个空位,从而形成共有电子的运动(参看图1.7、图1.8)。这种运动,好像一个带正电荷的空位子在移动,把这种运动叫做“空穴”运动。带正电荷的空位子叫做空穴。

当半导体处于外加电压作用之下,通过它的电流可以看作是两部分组成:一部分是自由电子进行定向运动所形成的电子电流(规定电流方向和电子运

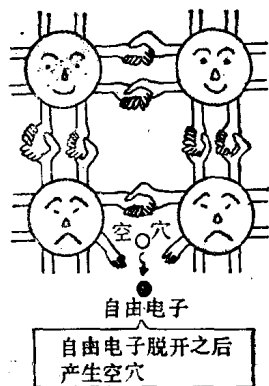


图1.7 空穴

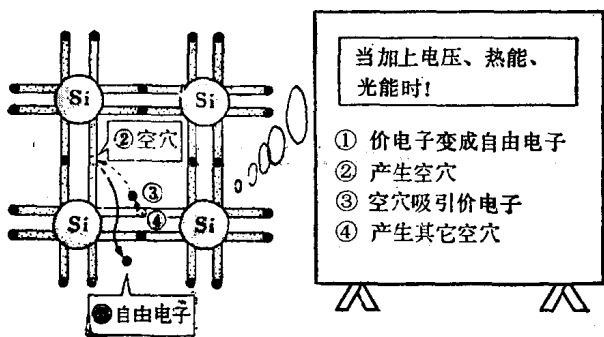


图1.8 自由电子和空穴的产生

动方向相反);另一部分是共有电子递补空穴所形成的空穴电流。电子和空穴都是载流子。它们的区别是,电子电流是

带负电的电子的定向运动,而空穴(由于它的运动方向和电子相反)电流是带正电的空穴的定向运动。所以在半导体中,不仅有电子载流子,而且还有空穴载流子,这是半导体导电的一个重要特性。

2. 半导体是电子技术的主要角色

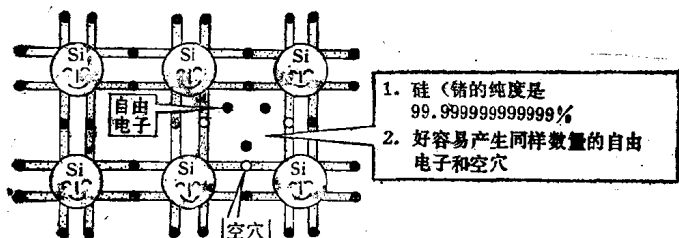


图2.1 本征半导体单晶的构造

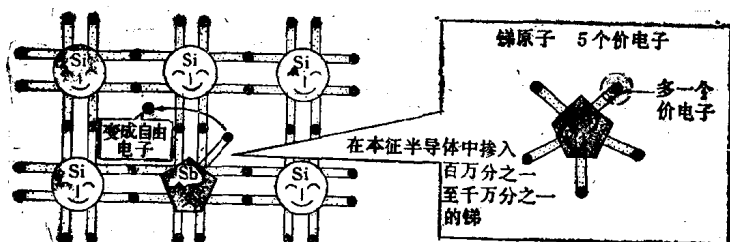


图2.2 n型半导体单晶的构造

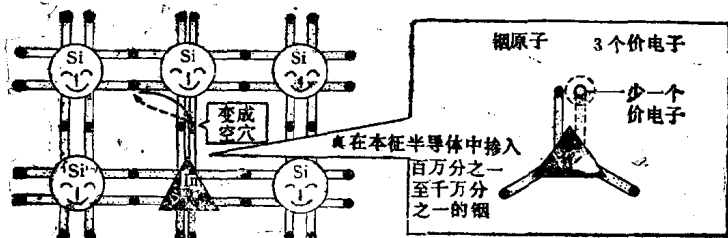


图2.3 p型半导体单晶的构造

[1] 半导体的代表是硅和锗

银、铜、铝等金属材料容易导电，把它们叫做导体；相反，塑料、陶瓷、橡皮等材料都很不容易导电，把它们叫做绝缘体。

如图2.4所示，研究一下物质在常温时的电阻率，就可以

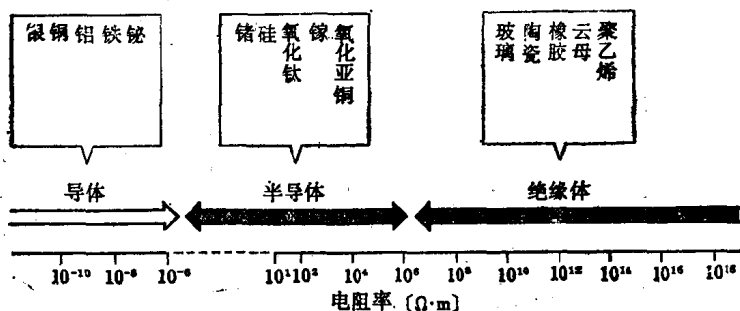
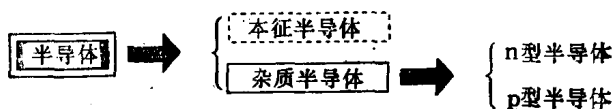


图2.4 各种物质的电阻率

看出半导体是在介于导体和绝缘体之间，电阻率在 $10^{-5}—10^6 \Omega \cdot m$ 范围内的物质。一般，使用硅和锗制造半导体二极管、晶体三极管、集成电路等半导体器件。

按构成半导体的单晶构造，半导体可以分为以下几类：



[2] 本征半导体的纯度高

半导体受外加电压、热能、光能等作用，电阻率发生变化。还有，即使混入极少杂质，也会使电阻率发生很大变化。因此，硅和锗的单晶需要99.999999999999%（并排12个9）以上的高纯度。图2.5是为了获得高纯度，用区熔法精制单晶的

示意图

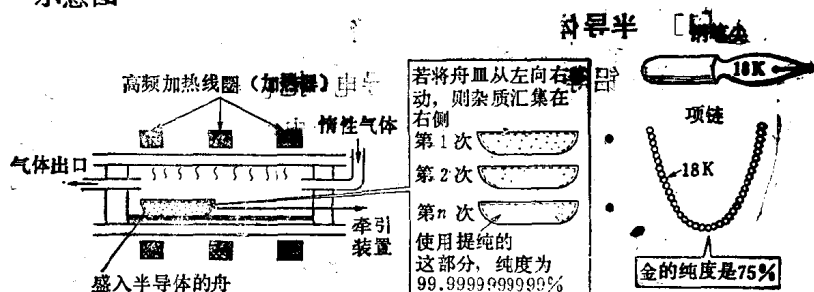


图2.5 用区熔法制造

这样精制的半导体叫做本征半导体, 即使在常温时接受热能, 好容易产生同样数量的自由电子和空穴(参看图2.1).

[3] 杂质半导体有 n 型半导体和 p 型半导体

在硅和锗的本征半导体的单晶中, 掺入百万分之一至千

表1.1 n 型半导体和 p 型半导体

本征半导体 (4个价电子)	杂质半导体	
	n 型半导体 (5个价电子)	p 型半导体 (3个价电子)
硅 Si	砷 As 磷 P	镉 In 镓 Ga
锗 Ge	锑 Sb	铝 Al

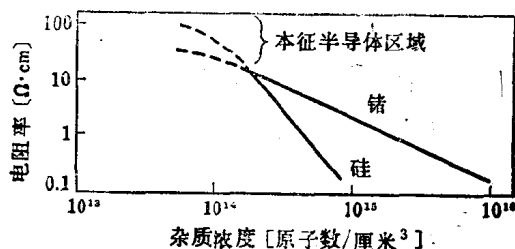


图2.6 杂质浓度和电阻率

万分之一左右某种规定的杂质，把这样的半导体叫做杂质半导体。杂质半导体根据表1.1所示的杂质原子的价电子的数目，分为n型半导体或p型半导体。用控制杂质浓度的办法，可以获得比本征半导体低的电阻率(参看图2.6)。

(a) **n型半导体的形成** 若在硅(Si)的本征半导体中掺入极微量锑(Sb)，则可形成n型半导体。就是说，对于4个价电子的硅，因为锑是5个价电子，所以多余1个价电子不能结合。这个价电子变成自由电子，使得全体载流子中具有负(negative)电的自由电子比空穴多。取negative的英文字头n，把这样的半导体叫做n型半导体(参看图2.2)。

(b) **p型半导体的形成** 若在硅(Si)的本征半导体中掺入极微量的铟(In)，则可形成p型半导体。就是说，对于4个价电子的硅，因为铟是3个价电子，它们少结合1个价电子。这个不足之处形成了空穴，使得全体载流子中具有正(positive)电的空穴比自由电子多。取positive的英文字头p，把这样的半导体叫做p型半导体(参看图2.3)。

(c) **n型半导体和p型半导体的电流怎样流动** 不论本征半导体还是n型、p型杂质半导体，在电性能方面都是

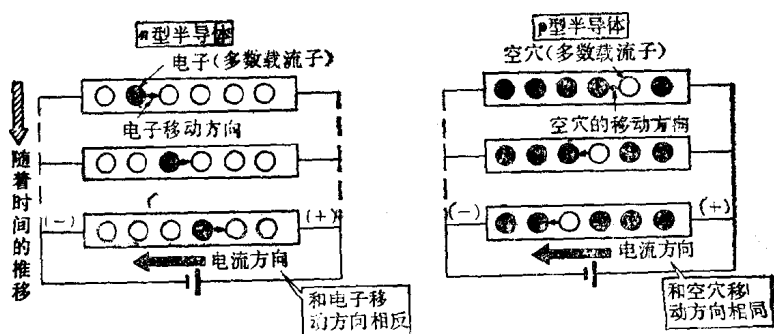


图2.7 根据n型半导体和p型半导体的多数载流子的作用，形成电流的方向

中性的,但是当给 n 型半导体和 p 型半导体外加电压时,都能使载流子移动,电流的流动方向如图2.7所示. n 型半导体中自由电子受电池正极吸引而移动,电流与电子移动方向相反. p 型半导体中空穴受电池负极吸引而移动,电流与空穴的流动方向相同.

3. 可以用一个 pn 结组成半导体二极管

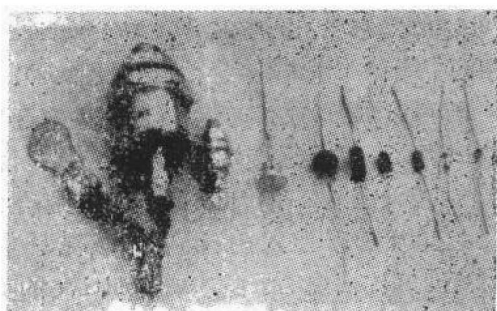


图3.1 各种型号的半导体二极管

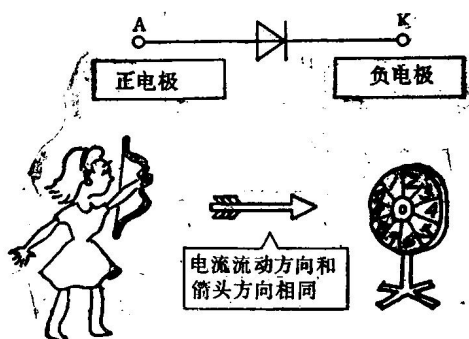


图3.2 半导体二极管的电极名称和符号

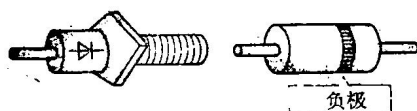


图3.3 半导体二极管的实物表示

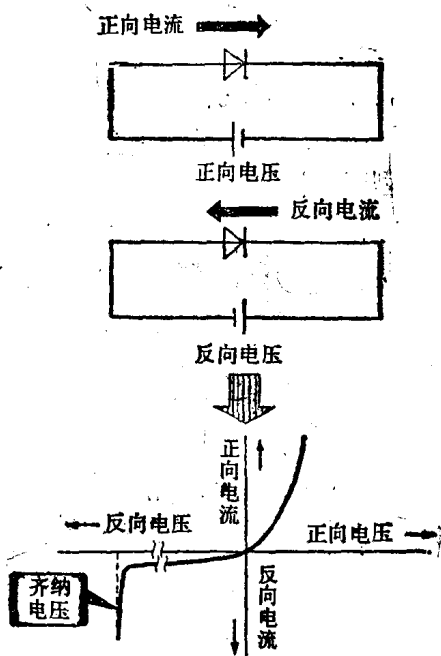


图 3.4 半导体二极管的特性

[1] 半导体二极管的形状和符号

图 3.1 是用于电视机、收音机、电源装置等的各种型号的半导体二极管。

所谓半导体二极管是具有两个电极的意思。图 3.2 是半导体二极管符号，一个电极叫做正极 A ，另一个电极叫做负极 K 。二极管具有电流只在一个方向容易流过的性质，如图所示的箭头方向就是电流容易流过的方向。

图 3.3 就是在二极管实体上表示的符号。

[2] 半导体二极管的构造和工作

一般所说的半导体二极管是指用 pn 结制造的二极管。