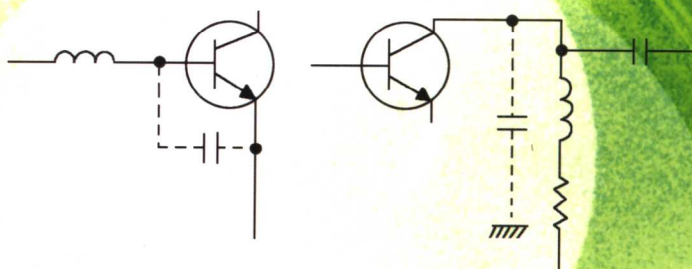


Technology
实用技术

图解电子电路基础系列

模拟电子电路

刘南平 陈·鹏 李 新 编



科学出版社
www.sciencep.com

图解电子电路基础系列

模拟电子电路

刘南平 陈 鹏 李 新 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“图解电子电路基础系列”之一。全书共分7章,主要介绍放大电路基础、低频小信号放大电路、高频放大电路、振荡电路、调制电路、解调电路、功率放大电路等。本书举例丰富,重点突出,强调应用。在讲解过程中,加大了图解的力度,以充分调动学生学习的积极性和主动性。

本书可作为高等职业、专科院校的自动化、通信、电子、计算机等相关专业的课程教材,也可作为电子爱好者的入门丛书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路/刘南平等编. —北京:科学出版社,2006
(图解电子电路基础系列)

ISBN 7-03-017400-3

I. 模… II. ①刘… III. 模拟电子电路-图解 IV. TN710-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 060714 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:郭 艳

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张:11 3/4

印数:1—4 000 字数:222 000

定 价:22.90 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

本书为高等职业技术教育电类专业的基础课参考辅导教材。本书编写过程中,遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则,力求做到以培养电子技术应用能力为主线,并在编写中特别注意以下几点:

(1) 在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的基础上,力求避免繁琐的数学推导。

(2) 在讲解的同时,注意加大图解的力度,将抽象的理论概念,用图示来辅助分析。

(3) 在内容编排方面,力求做到由浅入深、由易到难,循序渐进,符合教学规律。

(4) 在内容阐述方面,力求简明扼要,通俗易懂。贯彻理论与实践相结合,以应用为目的,以必须够用为度的原则,突出高等专科学校的教学特色。

本书共7章,介绍了放大电路基础、低频小信号放大电路、高频放大电路、振荡电路、调制电路、解调电路和功率放大电路。书中配有大量的习题,以帮助读者进一步理解所需要掌握的知识。在讲解过程中,加大了图解的力度,以充分调动学生学习的积极性和主动性。

本书的第4、6、7章由天津职业大学的刘南平老师编写,第2、3章由河北工业大学的陈鹏博士编写。第1、5章由天津职业大学的李新老师编写。

由于编者受时间和水平所限,书中错漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 放大电路基础	1
1.1 半导体基础	1
1.1.1 自由电子	1
1.1.2 空 穴	3
1.1.3 半导体晶体的分类	4
1.1.4 P 型半导体和 N 型半导体有机结合形成二极管	6
1.1.5 二极管的形状与电路符号	8
1.1.6 特殊二极管和二极管的使用方法	9
1.2 晶体三极管	12
1.2.1 晶体三极管的结构、类型和电路符号	12
1.2.2 晶体三极管的用途	13
1.2.3 晶体三极管中电子和空穴的运动	15
1.2.4 晶体三极管的使用方法	16
1.2.5 用万用表检测晶体三极管的好坏	21
1.2.6 用静态特性描述晶体三极管的伏-安特性	21
1.3 基本放大电路	22
1.3.1 放大电路的构成	22
1.3.2 工作原理	24
1.3.3 各部分的波形	24
1.3.4 偏 置	25
1.3.5 动态特性	25
1.3.6 组合特性	28
1.3.7 h 参数和等效电路	31
1.3.8 基本放大电路的放大倍数和输入、输出阻抗	35
1.4 放大电路的偏置电路	37
1.4.1 偏置的必要性	37
1.4.2 偏置电路的种类和特点	40
1.4.3 稳定度	44
1.4.4 温度补偿电路	46

第 2 章 低频小信号放大电路	50
2.1 直接耦合放大电路	50
2.2 RC 耦合放大电路	51
2.2.1 RC 耦合放大的基本电路	51
2.2.2 电容的作用	52
2.2.3 用等效电路分析	54
2.2.4 最佳工作点的求法	55
2.2.5 两级 RC 耦合放大电路	56
2.3 变压器耦合放大电路	60
2.4 多级放大电路	62
2.5 放大电路的频率特性	63
2.5.1 信号频率和放大倍数	63
2.5.2 低频段放大倍数降的原因	63
2.6 负反馈放大电路	68
2.6.1 负反馈放大电路的原理	68
2.6.2 实际的负反馈放大电路	73
第 3 章 高频放大电路	79
3.1 调 谐	79
3.1.1 用调谐电路选择信号	79
3.1.2 利用谐振现象选择信号	80
3.1.3 电抗的频率变化	81
3.1.4 电压放大串联谐振电路	81
3.1.5 电流放大并联谐振电路	82
3.2 调谐高频放大电路	82
3.2.1 调谐放大电路	82
3.2.2 单调谐电路通频带窄	83
3.2.3 双调谐放大电路	83
3.3 AGC 电路	84
3.3.1 AGC	84
3.3.2 反向自动增益控制	85
3.3.3 正向自动增益控制	85
3.4 中频放大电路	85
3.5 宽频带放大电路	86

第 4 章 振荡电路	88
4.1 振 荡	88
4.1.1 将放大电路的输出返回到输入	88
4.1.2 振荡条件	90
4.1.3 振荡的定义	91
4.2 振荡电路的分类	91
4.3 LC 振荡电路	93
4.3.1 调谐型 LC 振荡电路	93
4.3.2 三元件型 LC 振荡电路	95
4.4 RC 振荡电路	98
4.4.1 维恩电桥式振荡电路的原理	98
4.4.2 移相式振荡器的振荡原理	99
4.5 晶体振荡器及特殊振荡器	102
4.5.1 晶体振荡器	102
4.5.2 特殊振荡器	109
第 5 章 调制电路	111
5.1 调制的分类	111
5.1.1 调 幅	111
5.1.2 调 频	112
5.1.3 调 相	112
5.2 调幅电路	112
5.2.1 非线性电路和线性电路	112
5.2.2 非线性调制电路的作用	113
5.2.3 线性调制电路的作用	115
5.3 调频电路	118
5.3.1 直接调频方式	118
5.3.2 使用电抗晶体管的调频电路	121
5.3.3 由调相形成的等效调频电路	123
5.4 调相电路	126
5.4.1 阿姆斯特朗调相	126
5.4.2 由矢量合成形成的调相	128
5.4.3 锯齿波调制	130
5.5 调幅发射机	131
5.5.1 发射机的分类和电话发射机的构成	131

5.5.2	振荡部分的作用	132
5.5.3	功率放大部分的作用	133
5.5.4	调制部分的作用	134
5.6	调频发射机	134
5.6.1	调频通信的特征	134
5.6.2	调频发射机的构成和性能	135
5.6.3	各部分的作用	136

第6章	解调电路	138
6.1	解调	138
6.1.1	解调	138
6.1.2	解调的种类	138
6.1.3	外差检波	140
6.2	调幅解调电路	141
6.2.1	元件的特性和使用范围	141
6.2.2	非线性解调电路的作用	141
6.2.3	线性解调电路的作用	143
6.3	调频解调电路	150
6.3.1	参差调谐鉴频器	151
6.3.2	福斯特-西利鉴频器	151
6.3.3	差动峰值检波电路	153
6.3.4	积分检波电路	154
6.4	鉴相电路	156
6.5	调幅接收机	157
6.5.1	超外差接收机的构成和连接图	157
6.5.2	高频放大部分的作用	157
6.5.3	变频器的作用	159
6.5.4	中频放大部分的作用	159
6.5.5	检波部分、低频放大部分的作用	160
6.5.6	AGC 电路的作用	161
6.6	调频接收机	161
6.6.1	调频接收机的组成	161
6.6.2	高频端	162
6.6.3	中频放大器、调频检波器	164

第 7 章 功率放大电路	167
7.1 功率放大电路的结构和种类	167
7.1.1 甲类放大	167
7.1.2 乙类放大	167
7.1.3 甲乙类放大	168
7.2 甲类功率放大电路	169
7.2.1 甲类功率放大电路的概念	169
7.2.2 交流负载线和工作点	169
7.2.3 输出功率	170
7.2.4 最大输出功率和电源效率	170
7.3 乙类推挽功率放大电路	172
7.3.1 乙类的概念	172
7.3.2 使用输出变压器的乙类推挽功率放大电路	173
7.4 功率放大电路的散热	175
7.4.1 集电极损耗	175
7.4.2 散热的重要性	176

第 1 章 放大电路基础

本章对活跃在半导体中的电子的功能、半导体晶体的种类及其构成成分等进行了分析。并且讲解有关由 P 型半导体和 N 型半导体相互接合形成的 PN 结制成的二极管的作用,晶体三极管所具有的 NPN 型和 PNP 型结构以及晶体三极管的命名方法,并从基极、集电极和发射极的三个电极中流过的电流值来研究晶体三极管中电流的流动和作用。另外,为了能够正确地使用晶体三极管,对晶体三极管的最大额定值、晶体三极管上施加的电压和电流的关系等进行分析。

在此基础上对最基本的晶体三极管放大电路,通过观察各部分的波形,理解直流分量和交流分量如何叠加完成放大作用。为了不失真地放大输入信号,还介绍偏置的必要性,有关固定偏置电路,电流反馈偏置电路的结构和设计方法,以及如何根据特性曲线简便地通过作图的方法求得偏置和放大倍数,进而介绍特性曲线的斜率用数值表示的 h 参数的定义和利用参数等效电路求解放大倍数的方法。



半导体基础

半导体是介于导体(易于电流通过的物质,如铜)和绝缘体(不导通电流的物质,如橡胶)之间的物质。

利用半导体材料可制造出晶体二极管、晶体三极管、IC(集成电路)等器件,它们被广泛地应用于家电、汽车、计算机等各个领域。

自由电子

电子存在于原子之中,原子核和电子的大小与原子相比只有数万分之一(见图 1.1)。因此,当认为原子是内部为空心的球时,电子则可以在原子中自由地运动。

如图 1.2 所示,电子在原子核的周围形成数层轨道并沿轨道旋转,进入这些轨道的电子数由各个轨道决定,最外层轨道中的电子被称为价电子。对硅原子和锗原子而言,其价电子数是 4 个。

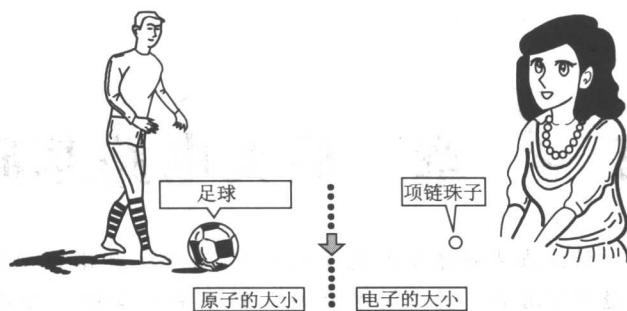


图 1.1 电子和原子的大小

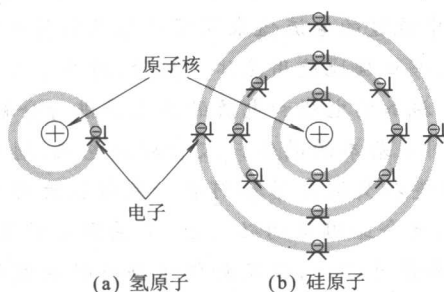


图 1.2 原子的平面模型

靠近原子核的轨道中的电子,受到原子核的强力吸引。最外层轨道中的价电子,却因为和原子核之间的引力较弱,可以容易地脱离轨道。像这样从原子核的束缚中挣脱出去的价电子称为自由电子(见图 1.3)。

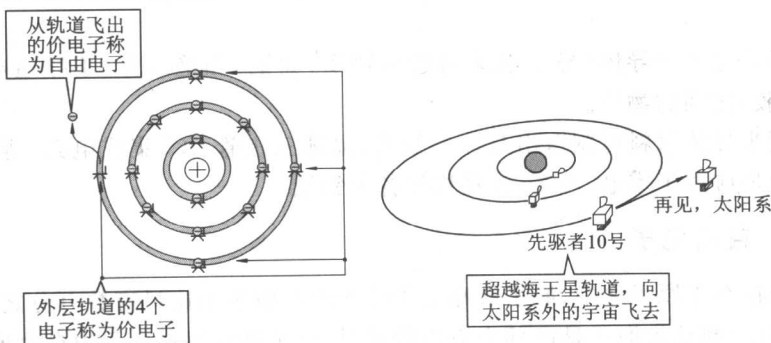


图 1.3 硅原子的价电子和自由电子

1.1.2 空穴

下面让我们对原子聚集在一起形成晶体时的情况进行分析。图 1.4 所示的是硅(Si)原子整齐排列着的晶体的平面示意图。通常情况下,各个原子如图所示那样,相邻的原子分别拿出 1 个价电子,以相互共有价电子的形式结合在一起。

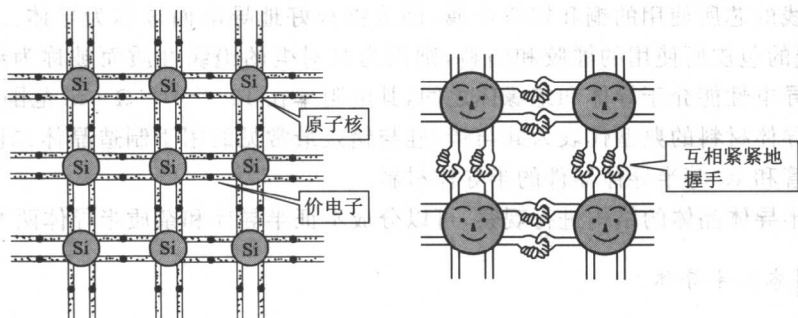


图 1.4 硅的晶体

现在,若是对这个晶体加上电压、热或用光进行照射等,则由于能量的吸入,晶体中的价电子可以脱离原子核的束缚成为自由电子,在晶体中自由地运动。

由于带有负电荷的电子的逸出,使价电子变成自由电子后留下的空位,从电中性的状态变得带有正电荷。这个带有正电荷的空位称为空穴(见图 1.5)。

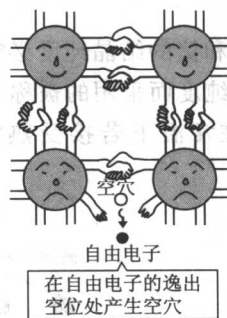


图 1.5 空穴

空穴一旦产生,由于其带有正电荷,所以会吸引附近的带有负电荷的价电子,而被吸引走的价电子留下的空位又形成其他新的空穴(见图 1.6)。

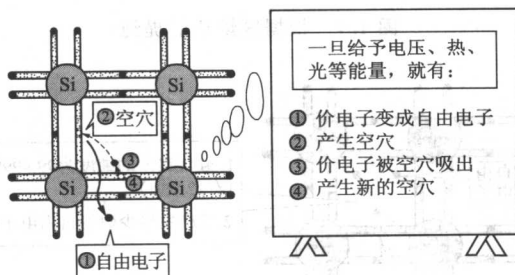


图 1.6 自由电子和空穴的产生

这样的过程随时间依次连续地进行,可以认为好像空穴运载着正的电荷。正是由于自由电子运载负电荷,空穴运载正电荷的缘故,所以称它们为载流子。

另外,电子的流动称为电子流,规定电流的方向和电子流的方向相反。

1.1.3 半导体晶体的分类

电线的芯所使用的铜和铝等金属,因为能很好地导电而被称为导体。与此相反,电线的包皮所使用的橡胶和塑料,则因为其对电的绝缘性质而被称为绝缘体。半导体导电性能介于导体和绝缘体之间,其电阻率在 $10^{-5} \sim 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 范围内。

半导体材料的典型代表为硅与锗,硅与锗是最常见的用于制造晶体二极管、晶体三极管和 IC 等半导体器件的半导体材料。

从半导体晶体的结构进行观察,可以分成本征半导体和杂质半导体两类。

1 本征半导体

本征半导体是指纯净的、不含杂质的半导体。在绝对零度时,本征半导体的价电子无法挣脱共价键的束缚,因此本征半导体中不存在自由电子,半导体处于绝缘状态。

硅和锗的结晶纯度必须高于 99.999999999% (12 个 9!)。图 1.7 所示是为了获得高纯度而采用的被称为区熔法的提纯方法。这样提纯后的半导体称为本征半导体,在常温下若接受热能,则产生极少的数量相同的自由电子和空穴(见图 1.8)。

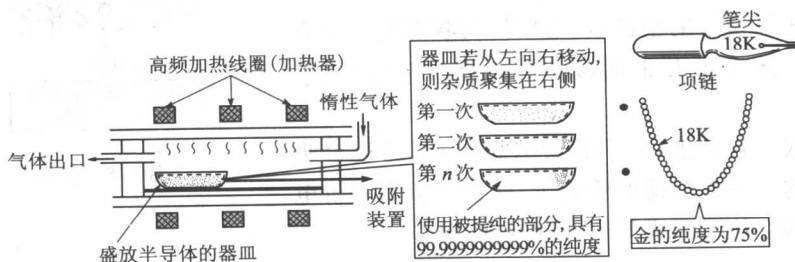


图 1.7 根据区熔法的提纯

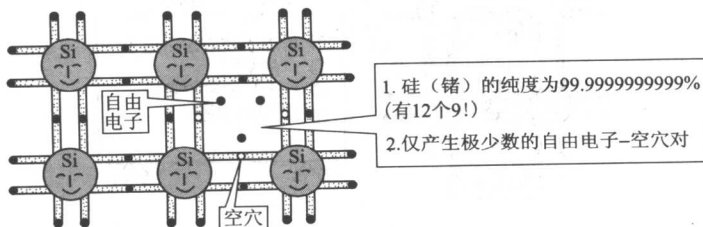


图 1.8 本征半导体的晶体结构

若从外部对半导体施加电压、热、光等能量,则其电阻率将发生变化。同样,即使在半导体中混入极其微量的不纯物质,其电阻率也将发生很大的变化。

2 杂质半导体

杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

在硅、锗的本征半导体结晶中,掺入一千万分之一到一百万分之一程度的某种确定的杂质后所得的半导体称为杂质半导体。杂质半导体,根据表 1.1 所示的杂质原子的价电子的个数,或变成称为 N 型的半导体,或变成称为 P 型的半导体。另外,根据杂质浓度,可以使电阻率变得比本征半导体低(见图 1.9)。

表 1.1 N 型半导体和 P 型半导体

本征半导体 (价电子 4 个)	杂 质	
	N 型半导体 (价电子 5 个)	P 型半导体 (价电子 3 个)
硅 Si	砷 As	镓 In
锗 Ge	磷 P	铟 Ga
	锑 Sb	铝 Al

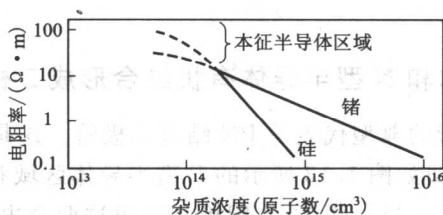


图 1.9 杂质浓度和电阻率

(1) N 型半导体的形成

在硅的本征半导体中,将极少量的锑作为杂质掺入,就形成 N 型半导体。即相对于硅的 4 个价电子,锑因为有 5 个价电子,所以有 1 个多余的价电子不能构成共价键。这个价电子就变成了自由电子,全部载流子中与空穴相比带负电的自由电子的数量变多,这样的半导体取 Negative 的第一个字母 N,称为 N 型半导体(见图 1.10)。

(2) P 型半导体的形成

在锗的本征半导体中,与 N 型半导体相对照,用 3 价的镓作为杂质掺入,就形成 P 型半导体。即相对于硅的 4 个价电子,镓因为有 3 个价电子,所以构成共价键还缺少一个价电子。这一缺少价电子之处就形成空穴,全部载流子中与自由电子相比带正电的空穴数量变多,这样的半导体取 Positive 的第一个字母 P,称为 P 型半导体(见图 1.11)。

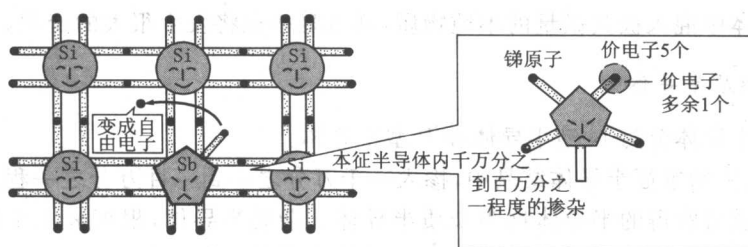


图 1.10 N 型半导体的晶体结构

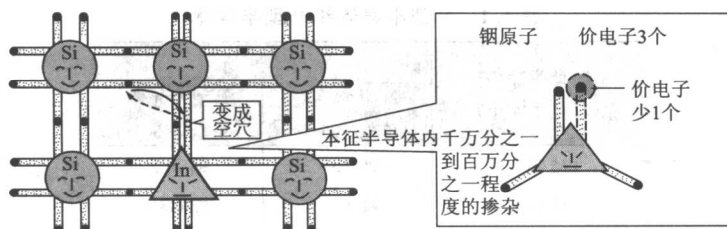


图 1.11 P 型半导体的晶体结构

1.1.4 P 型半导体和 N 型半导体有机结合形成二极管

通常被称为二极管的典型代表是 PN 结型二极管。这是在硅或锗的本征半导体结晶中掺杂,构造形成如图 1.12 所示的 P 型半导体区域和 N 型半导体区域,使它们互相有机地连接在一起。并且,将阳极和阴极这两个电极分别固定于 P 型区域和 N 型区域的两端。P 型区域与 N 型区域的交接面被称为交界面。

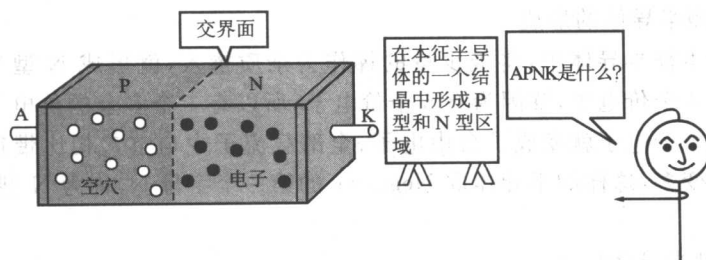


图 1.12 PN 结型二极管

(1) PN 结不加电压时的情况

PN 结一旦形成,就如图 1.13 所示,在交界面附近 P 型区域的空穴向 N 型区域移动,而 N 型区域的电子向 P 型区域移动,这种状况与往水中滴入浓度高的墨

水时,墨水慢慢地向四周水中扩散,最终完全与水混合的现象相似,称为扩散现象。

在界面附近扩散的空穴与电子相遇复合消失,结果导致在界面的附近形成没有载流子的区域,称这一区域为耗尽层。

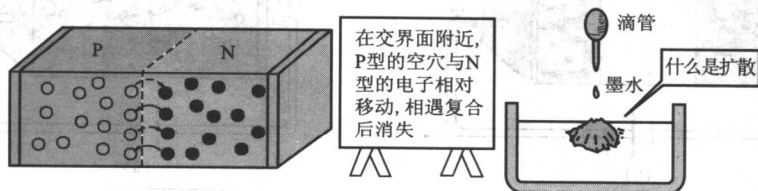


图 1.13 由扩散引起的空穴与电子的移动

一旦发生这样的扩散,则在 P 型区域,当空穴中和消失之后便产生负的电荷(负离子);而在 N 型区域,当失去电子之后便产生正的电荷(正离子)。

由于这些电荷产生了称为势垒的电位差,妨碍载流子的进一步扩散,因而阻止 PN 结整体的中和(见图 1.14)。

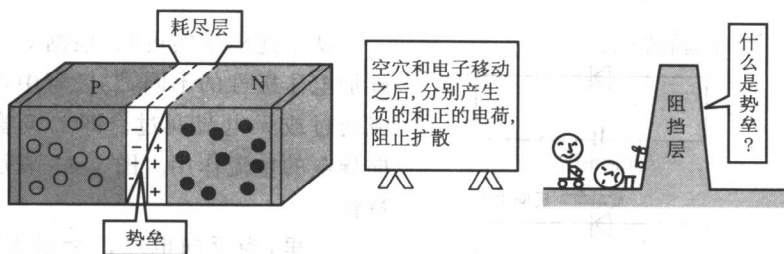


图 1.14 耗尽层和势垒的产生

(2) 当 PN 结加上反向电压时的情况

如图 1.15(a)所示,若 P 型区域接电源负极, N 型区域接电源正极,则 P 型区域的空穴被负极吸引, N 型区域的电子被正极吸引。结果耗尽层增宽,势垒也变高。因此,由于载流子不能移动而无电流通过。这样施加电压的方式称为反向电压。图 1.15(b)是这种情况下的电路图表示。

(3) 当 PN 结加上正向电压时的情况

如图 1.16(a)所示,若 P 型区域接电源正极, N 型区域接电源负极,则耗尽层变薄,并且势垒也变低。结果,穿越界面, P 型区域的空穴向 N 型区域移动, N 型区域的电子向 P 型区域移动。因此,发生了载流子的移动而使电流流通。这样施加电压的方式称为正向电压,流过的电流称为正向电流。图 1.16(b)为其电路图。

(4) PN 结型二极管的特性

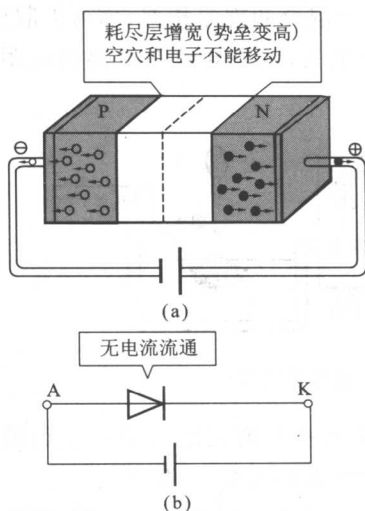


图 1.15 反向电压的情况

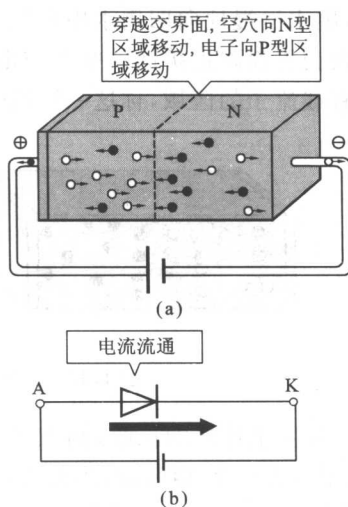


图 1.16 正向电压的情况

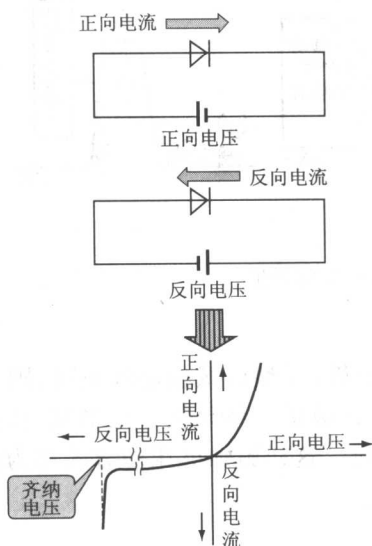


图 1.17 二极管的特性

1.1.5 二极管的形状与电路符号

二极管即意味着带有两个电极。一个称为阳极(A),另一个称为阴极(K),图 1.18 是二极管的电路符号。二极管具有单向导电性,箭头的方向表示电流

从上述的事实可知:根据对二极管所施加电压极性的不同,二极管中可以有电流通过或无电流通过。即二极管具有单向导电的整流作用。图 1.17 表示了这种特性。

这里,当反向电压不断增大时,就会发生在某点电流突然开始流通并显著增加的现象,这种现象称为击穿现象。电流突然开始激增时的电压值称为击穿电压或齐纳电压。

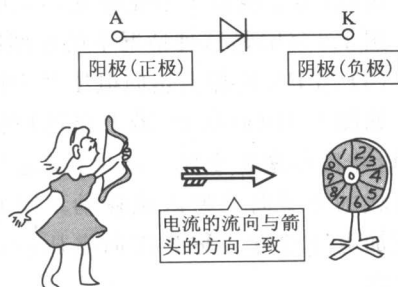


图 1.18 二极管的极性和电路符号