

模拟与数字电路

张珍华 苏志武 编著

中国广播电视出版社

模拟与数字电路

张珍华 苏志武 编著

中国广播电视出版社

(京)新登字 097 号

模拟与数字电路

张珍华 苏志武 编著

*

中国广播电视出版社出版

(北京复外真武庙二条 9 号 邮政编码 100866)

北京后牛坊胶印厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开 26.25 印张 640 千字

1994 年 10 月第 1 版 1995 年 2 月第 2 次印刷

印数: 12001—14000 册 定价: 21.00 元

ISBN7-5043-0181-7/TN·187

出版者的话

根据广播电影电视部关于开展值机员岗位培训的要求，我们编辑出版了六种岗位培训教材：《无线电数学》、《电工与电路基础》、《模拟与数字电路》、《广播发送技术》、《电视调频发送技术》和《微波技术》。教材力求文字简明、概念正确、结合岗位工作实际，适合具有高中文化程度的技术人员阅读。

广播电影电视部教育司

前 言

《模拟与数字电路》是将《电子线路》与《脉冲与数字电路》两门课的内容，根据“少而精”的原则有机结合而成的。本书从技术人员岗位培训实际需要出发，注重实用性和针对性。

本书在编写过程中力求通俗易懂，物理概念明确，尽量避免繁琐的数学推导，突出重点，理论联系实际，适合读者自学。

本书第一章至第七章及第十二、十三、十五章由张珍华编写，第八章至第十一章和第十四章由苏志武编写。陈宏诚同志审阅了全部原稿。

由于编者水平和能力有限，书中难免有不妥，错误之处，恳请使用本书的师生、读者批评指正。

编 者

1993年11月

目 录

第一篇 线性放大电路

第一章 半导体器件	(1)
1-1 半导体的基本知识	(1)
1-2 PN 结和晶体二极管	(5)
1-3 晶体三极管	(10)
1-4 场效应晶体管	(20)
小 结	(26)
思考题与习题	(27)
第二章 低频小信号放大器	(29)
2-1 放大器基本结构和放大原理	(29)
2-2 放大器的图解分析法	(34)
2-3 工作点稳定和偏置电路	(40)
2-4 放大器小信号等效电路分析法	(44)
2-5 基本放大电路的分析	(52)
2-6 放大器的频率特性	(57)
2-7 阻容耦合多级放大器	(66)
2-8 场效应管放大器	(70)
小 结	(72)
思考题与习题	(73)
第三章 负反馈放大器	(77)
3-1 负反馈放大器的基本概念	(77)
3-2 负反馈对放大器性能的影响	(81)
3-3 负反馈放大器分析举例	(85)
3-4 低频放大器的自激和预防	(88)
小 结	(90)
思考题与习题	(90)
第四章 宽频带放大器	(93)
4-1 密勒效应	(94)
4-2 f_β 、 f_T 及 f_o 之间的关系	(95)
4-3 展宽频带的方法	(97)
小 结	(100)

思考题与习题.....	(100)
第五章 小信号调谐放大器.....	(101)
5-1 调谐放大器的特点和分类	(101)
5-2 单回路调谐放大器	(105)
5-3 实用的调谐放大器	(108)
小 结.....	(112)
思考题与习题.....	(112)
第六章 低频功率放大器.....	(113)
6-1 功率放大器的特点和分类	(113)
6-2 单管甲类功率放大器	(115)
6-3 乙类推挽功率放大器	(120)
6-4 无变压器功率放大器	(126)
6-5 大功率管的保护	(133)
小 结.....	(136)
思考题与习题.....	(136)
第七章 直流放大器与集成运算放大器.....	(138)
7-1 直流放大器的特点	(138)
7-2 差动放大器	(141)
7-3 集成电路常识	(146)
7-4 集成运算放大器的内部单元电路	(148)
7-5 集成运算放大器的应用	(153)
小 结.....	(157)
思考题与习题.....	(157)

第二篇 非线性电子线路

第八章 谐振功率放大器.....	(159)
8-1 非线性电子线路概述	(159)
8-2 谐振功率放大器原理	(162)
8-3 谐振功率放大器的特性分析	(170)
8-4 电子管及其电路	(176)
小 结.....	(189)
思考题与习题.....	(190)
第九章 正弦波振荡器.....	(192)
9-1 反馈振荡器的工作原理	(192)
9-2 LC 正弦波振荡器.....	(197)
9-3 振荡频率的稳定	(202)

9-4 改进型电容三点式振荡器	(204)
9-5 晶体正弦振荡器	(206)
9-6 RC 正弦振荡器	(210)
小 结	(218)
思考题与习题	(219)
第十章 振幅调制、解调与变频电路	(222)
10-1 调制、解调的概念及方式	(222)
10-2 调幅波的性质	(223)
10-3 低电平调幅电路	(228)
10-4 高电平调幅电路	(236)
10-5 大信号包络检波	(243)
10-6 同步检波电路	(249)
10-7 变频	(253)
小 结	(261)
思考题与习题	(262)
第十一章 角度调制与解调电路	(263)
11-1 调角波的基本特性	(263)
11-2 变容管直接调频电路	(270)
11-3 间接调频电路	(273)
11-4 调角波的解调	(275)
小 结	(285)
思考题与习题	(286)
第十二章 晶体管直流稳压电源	(288)
12-1 整流电路	(288)
12-2 滤波电路	(292)
12-3 直流稳压电源	(295)
12-4 串联晶体管稳压电路	(299)
12-5 其它稳压电源简介	(303)
小 结	(305)
思考题与习题	(305)

第三篇 脉冲数字电路

第十三章 分立元件脉冲数字电路	(306)
13-1 基础知识	(306)
13-2 分立元件逻辑门电路	(317)
13-3 分立元件触发电路	(325)
13-4 脉冲信号产生电路	(334)

小 结.....	(339)
思考题与习题.....	(340)
第十四章 数字集成电路	(342)
14-1 数字集成电路简述.....	(342)
14-2 集成电路逻辑门.....	(343)
14-3 集成电路触发器.....	(358)
14-4 MOS 集成电路.....	(372)
小 结.....	(376)
思考题与习题.....	(377)
第十五章 脉冲数字电路的应用	(378)
15-1 基本逻辑功能部件.....	(378)
15-2 模拟与数字转换概念.....	(402)
小 结.....	(406)
思考题与习题.....	(406)
附录一 国产半导体器件型号命名法	(409)
附录二 贝塞尔函数表	(410)
主要参考书目	(411)

第一篇 线性放大电路

第一章 半导体器件

内 容 提 要

常用的半导体器件有晶体二极管、晶体三极管、场效应管等。为了正确和有效地运用电子器件，必须对它们的工作原理和性能有一基本的了解。为此，本章主要介绍有关半导体的基本知识、晶体二极管、晶体三极管及场效应管的结构、原理、特性。这些都是基本内容，是为以后学习各章打基础的，希望读者给予足够的重视。

1-1 半导体的基本知识

本章主要介绍晶体二极管、三极管和场效应晶体管，而晶体管是由半导体材料做成的，为了读者便于了解这些晶体管的工作原理和性能，首先介绍一些半导体的基本知识。

一、什么是半导体

物质就其导电性能来区别，通常可分为三类。一类是导电性能良好的物质，叫导体，如金、银、铜、铝、铁等金属都是导体。另一类是几乎不能导电的物质，叫绝缘体，如塑料、陶瓷、橡皮、石英及玻璃等。还有一类导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，叫半导体，如锗、硅、硒、砷化镓等。

物质为什么会出现导电难易现象呢？其根本原因在于物质内部原子本身的结构和原子间的结合方式。

我们知道原子由带正电的原子核和带负电的电子组成，而电子分若干层围绕原子核不停地运动。比较起来，金属材料的外层电子受原子核束缚力最小，所以有大量的电子挣脱原子核的束缚而成为自由电子。这些自由电子就成为运载电荷的粒子（简称为载流子），它们在外电场的作用下作定向运动即形成电流。因此金属有良好的导电性。

在绝缘材料中，原子的外层电子受原子核的束缚力很大，几乎不能挣脱原子核的束缚而成为自由电子。绝缘体原子结构的这一特点，决定了它几乎不能导电的性质。

半导体的原子结构比较特殊，其外层电子既不像导体那样容易挣脱，也不像绝缘体那样束缚很紧，这就决定了它的导电性能介于导体和绝缘体之间。

半导体之所以得到广泛应用，是由于它具有不同于其它物质的导电性能。

1. 半导体的导电性能受掺入杂质的影响显著。在纯半导体中掺入微量的杂质（有用的特定元素），则半导体的导电能力就会有显著的增加，这是半导体最突出的性质。正是利用这个

特性，可制造出各种晶体管。

2. 半导体的导电性能随光照而发生显著变化。如半导体材料硫化镉在一般灯光照射下比无光照射时的电阻率小几十倍甚至几百倍。

3. 半导体的导电性能随温度升高而提高。如纯半导体硅，当温度从 20°C 升高到 30°C 时，其电阻率约下降一倍。

人们利用后两个特性，即半导体对外界的光、热敏感性，制造出了各种半导体光敏、热敏元件。

为什么半导体具有上述这些导电性能呢？这就需要从它的内部结构上加以说明。

二、本征半导体

经高度提纯后，不含杂质的半导体称为本征半导体。

（一）本征半导体的晶体结构

硅和锗的单个原子结构如图 1-1 所示。由图可见，它们的特点是最外层的电子都是四个。通常，把原子的最外层电子称为价电子，有几个价电子就称为几价元素。锗和硅原子最外层的电子都是四个，所以锗和硅都是四价元素，如图 1-1 (a)、(b) 所示。由于原子的内层电子受原子核束缚力较大，它们与原子核结合为较稳定的整体，称为原子实。原子实带正电荷，其电量大小等于外层电子带电量总和。外层价电子离原子核较远，受原子核束缚力较弱，在外界因素作用下可能挣脱束缚成为自由电子而参与导电。为了讨论方便，常把锗和硅原子简化为图 1-1 (c)，图中 $+4$ 表示原子核与内层电子合在一起（原子实）共带有四个正电荷。

制造半导体管所用的原材料锗或硅是由许多锗原子或硅原子聚集组成的，它不但非常纯净，而且整个材料内部原子的排列也非常有规则，这种材料称为“单晶体”。单晶锗和单晶硅都是制造晶体管的主要材料，这也就是“晶体管”名称的由来。图 1-2 是单晶硅的结构示意图。

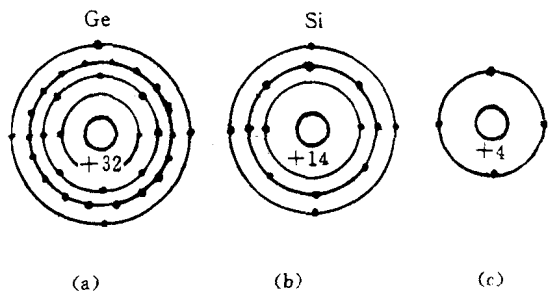


图 1-1 锗、硅的原子结构示意图

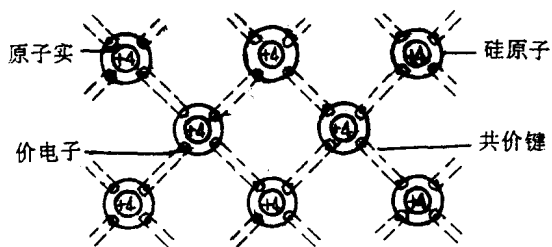


图 1-2 单晶硅的结构示意图

单晶锗和单晶硅中的原子排列是非常有规则的，这是由于原子之间是依靠共价键结合起来的。所谓共价键，就是每个原子各提供一个价电子和它相邻的一个原子共有，即这对价电子中任何一个电子不仅围绕着自身的原子核运动，而且也出现在相邻原子核所属的轨道上，它既受本身原子核的吸引，又受相邻原子核的吸引，从而把两个原子牢固地束缚在一起。这种“共有电子”所形成的束缚作用就叫做共价键。锗和硅都是四价元素，它们的原子最外层有四个价电子，正好和四个邻近的原子组成四个共价键，如图 1-2 所示。

这里需注意，单晶锗或单晶硅中的共价键电子仍为束缚电子，没有得到额外能量是不能

脱离这种束缚的。

(二) 本征激发

半导体中的价电子受到共价键的束缚，但这种束缚力要比绝缘体小得多。所以，在室温下可有少数价电子从原子热运动中获得能量，挣脱共价键的束缚而成为自由电子。它同时在共价键中留下一个空位，这个空位称为“空穴”，如图 1-3 所示。

在本征半导体中，电子和空穴总是成对出现的，通常称为电子—空穴对。本征半导体受热或受其它能量而激发出电子—空穴对的现象称为本征激发。

由于空穴在晶体管中具有重要作用，所以下面介绍一下空穴的特性。

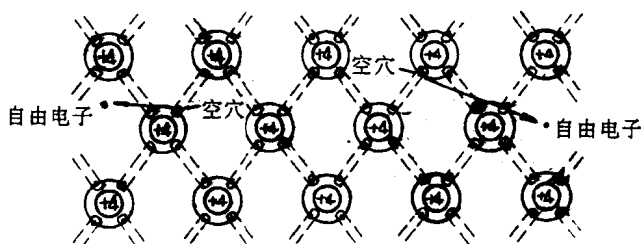


图 1-3 晶体中的本征激发

1. 空穴带正电荷

空穴的出现，使原来呈中性的锗或硅原子成为一个带正电的正离子。这个正电荷可以认为是空穴所具有的。

2. 空穴在半导体内可以移动

由于空穴带正电荷，相邻共价键中的价电子有可能填补这个空穴，如图 1-4 所示。显然填补来的电子又会在其原来所在位置留下新的空穴，这个新空穴又会被其附近的共有价电子所填补。这样依次递补，从而形成空穴在半导体中的无规则运动。

空穴运动的实质，仍是一种电子运动的结果，不过不是自由电子的运动，而是价电子从一处移到另一处填补空穴位置的运动。由于这种价电子的运动无论从效果上还是现象上，都好像是一个带正电荷的空穴在移动，所以称为空穴运动，以便与带负电荷的自由电子运动相区别。就如同剧场里如果前面走了人出现了空位，后面的人递补空位向前坐，其效果就像空位子在向后运动一样。显然，这种运动和没有座位的人到处走动是不一样的，后一种好比是自由电子的运动，而有座位的人依次递补空位的移动则好比是空穴运动。

(三) 半导体的导电特性

由上所述，在一定的温度下，半导体内有两种载流子。一种是带负电的自由电子，另一种是带正电的空穴，这是半导体的一个重要特性。在外加电压作用下，

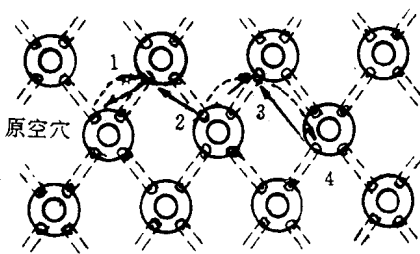


图 1-4 空穴的运动

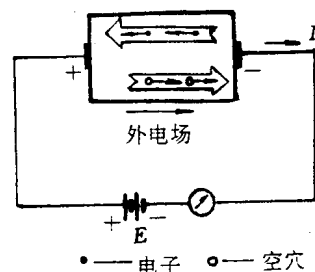


图 1-5 外电压作用下载流子的运动

将同时产生两种载流子的导电现象，如图 1-5 所示。其中自由电子向正极移动形成电子电流，而空穴向负极移动形成空穴电流，外电路中的电流 I 等于电子电流与空穴电流之和。

在室温下，锗、硅单晶半导体中的电子和空穴的数量还是非常少的，因此电路中的电流也是非常小的。不过锗、硅单晶半导体对温度十分敏感，温度越高，电流越大。

在本征半导体中，本征激发产生电子—空穴对，而当自由电子和空穴相遇时又会使电子—空穴对消失，这种现象称为复合。在一定的温度下激发与复合可以达到动态平衡，即激发产生的电子—空穴对与复合消失的电子—空穴对数量相等，半导体内的电子—空穴对保持一定的数目。半导体中电子—空穴对的多少与温度有关，温度越高，电子—空穴对越多，导电性能越好，反之导电性能就越差。

三、杂质半导体

由于本征半导体导电能力过低，而且参与导电的自由电子和空穴浓度是相同的，故不能直接用它制造半导体器件。如果在本征半导体中，掺入微量的有用杂质，就可以使半导体的导电性能大大增加。掺入杂质的半导体是制造各种半导体器件的基础，按掺入杂质的不同可以制成 N 型半导体（电子型半导体）和 P 型半导体（空穴型半导体）。

（一）N 型半导体

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的五价元素，就得到 N 型半导体。这种五价元素被称为 N 型杂质或称为施主杂质，如磷（P）元素。

由于磷原子的数目比硅原子要少的多，因此整个晶体结构基本不变，只是在某些位置上硅原子被磷原子替代。又由于磷原子具有五个价电子，所以一个磷原子同相邻的四个硅原子结成共价键时，还盈余一个价电子。这个价电子没有被束缚在共价键内，只受到磷原子核的吸引，故它受到的束缚力小得多，很容易挣脱束缚成为自由电子，因此使硅单晶半导体中的电子载流子数目大大增加，如图 1-6 所示。

由于这种半导体主要靠电子导电，所以叫做电子型半导体，简称为 N 型半导体，我们可把 N 型半导体形象地表示为图 1-7。在这种半导体中，由于磷原子丢失了一个价电子而成为带正电荷的磷离子，正离子数目与电子数目相等，所以 N 型半导体仍然是中性的（磷离子是不能够移动的，它不参与导电）。在图 1-7 中，除了掺杂产生的大量自由电子外，还标出了热激发产生的少量电子—空穴对。因此在这种半导体中，空穴的数目相对于自由电子的数目是极少的，所以把空穴称为“少数载流子”，而把电子称为“多数载流子”。

（二）P 型半导体

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的三价元素，就得到 P 型半导体。这种三价元素称 P 型杂质或称为受主杂质，如硼（B）元素。

当掺入微量硼元素后（硼原子只有三个价电子），因缺少一个

电子，就自然形成了一个空穴，如图 1-8 所示。在常温下，硼原子附近硅原子的价电子很容易填补这个空穴，这就使硼原子多了一个电子而成为负离子。掺进硼原子越多，则硅晶体中的空穴和负离子也越多，所以这种半导体主要靠空穴导电，称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴是“多数载流子”，而电子是“少数载流子”，可把 P 型半导体形象地表示为图 1-9。P 型半导体仍然是中性的。

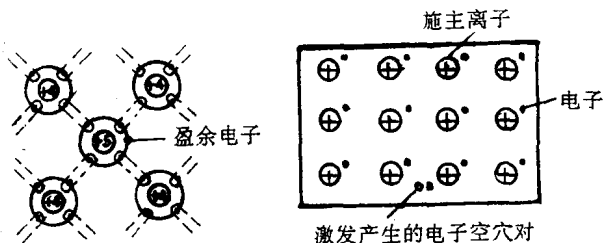


图 1-6 N 型半导体示意图

图 1-7 N 型半导体简图

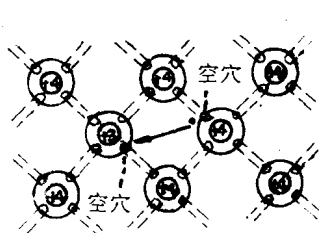


图 1-8 P 型半导体示意图

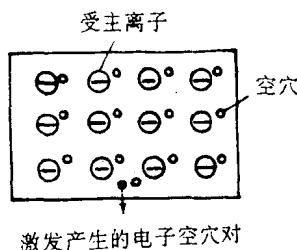


图 1-9 P 型半导体简图

1-2 PN 结和晶体二极管

一、PN 结的单向导电性

若把 P 型半导体和 N 型半导体经过一定的工艺结合在一起，在它们的交界面处就形成一个特殊薄层，称为 PN 结。PN 结具有单向导电性，它是晶体二极管、三极管、场效应管等半导体器件的基础。

(一) PN 结的形成

当 P 型半导体和 N 型半导体“结合”在一起时，由于这两部分半导体中空穴和电子的浓度相差很大，所以 P 区的多数载流子空穴必然向空穴很少的 N 区扩散，N 区的多数载流子电子也必然向电子浓度很少的 P 区扩散，如图 1-10 (a) 所示。扩散结果，在交界面的 P 区一侧，由于流走了空穴，剩下受主杂质的负离子；与此同时交界面 N 区一侧，由于流走了电子，剩下施主杂质的正离子，于是在分界面两侧形成了一个空间电荷区，即 PN 结，如图 1-10 (b) 所示。在空间电荷区内存在由带正电薄层指向带负电薄层的内电场（在空间电荷区以外的 P 区和 N 区仍为电中性，不存在电场）。不难看出空间电荷区内载流子很少，只留下不能移动的正、负离子，所以又称为耗尽层。

由于电荷在电场中要受电场力的作用，正电荷受力方向与电场方向相同，负电荷受力方向与电场方向相反，因此当内电场建立后，N 区的自由电子向 P 区扩散进入空间电荷区时，将受到一个指向 N 区的电场力作用，一部分自由电子将被拉回 N 区。同样，P 区的空穴向 N 区扩散进入空间电荷区时，也受到一个指向 P 区的电场力作用，一部分空穴也被推回到 P 区。这样，由于内电场的作用，使两边的多数载流子的扩散受到阻碍，扩散运动将减弱。可见空间电荷区的内电场阻碍多数载流子扩散，所以又把空间电荷区称为阻挡层。

同时，内电场的存在却能促使 P 区中少数载流子（电子）向 N 区运动和 N 区中的少数载

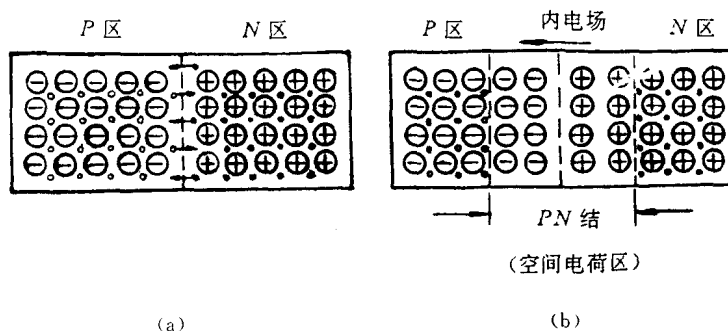


图 1-10 PN 结的形成

流子（空穴）向P区运动的作用。通常把少数载流子在内电场作用下产生的这种运动叫漂移运动。不难看出，对同一种载流子（如空穴）来说，其扩散的方向恰好与漂移的方向相反，扩散运动和漂移运动形成了一对矛盾。

必须指出，多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动在一开始就同时产生了。不过，开始时扩散占优势，随着扩散的进行，N区和P区的交界面上产生了内电场，则少数载流子产生漂移，这时多数载流子的扩散运动将有所减弱。这样，总有一个时刻，扩散越过阻挡层的载流子数量和漂移越过阻挡层的载流子数量相等。由于扩散和漂移方向相反，所以越过阻挡层的净电荷为零，即达到了动态平衡。这时，扩散不再减弱，漂移也不再增强。

在阻挡层中既然存在内电场，于是在阻挡层两侧就存在电位差，称为接触电位差。PN结两端的接触电位差的大小与半导体材料、掺入杂质的浓度有关，也与温度有一定关系。

由于阻挡层的内电场对多数流子的扩散起着“堡垒”一样的阻挡作用，因此又将阻挡层称为“位垒”或“势垒”区。

（二）PN结的单向导电性

若在PN结的两端加上一个如图1-11所示的电压，电源电压在PN结上产生的电场用 $E_{\text{外}}$ 表示。这时，电场 $E_{\text{外}}$ 的方向从P区指向N区。 $E_{\text{外}}$ 的方向与 $E_{\text{内}}$ 的方向相反，它削弱PN结电场，破坏了扩散和漂移运动的动态平衡。这时由于外加正向电压，使多数载流子的扩散运动加强并处于主导地位。多数载流子运动形成的扩散电流是一个较大的正向电流，即当外加正向电压后，空间电荷区变窄，PN结电阻减小，处于导通状态。

与此相反，若给PN结加一个反向电压，如图1-12所示，这时反向电压所产生的电场 $E_{\text{外}}$ 与PN结电场 $E_{\text{内}}$ 方向一致，PN结电场加强。这样就破坏了扩散和漂移运动的平衡，使少数载流子的漂移运动加强并占主要地位。由于漂移运动是少数载流子的运动，它的密度很小，所以形成的反向电流很微弱。正因为如此，在一定

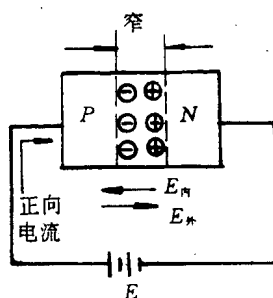


图1-11 PN结外加正向电压

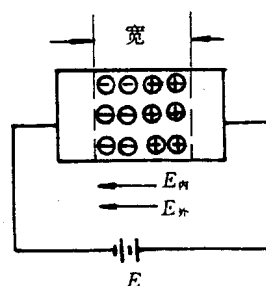


图1-12 PN结外加反向电压

范围内，外加电压 $E_{\text{外}}$ 即使再增加，反向电流也不会有什么变化，基本上保持不变，但是如果温度变化，反向电流也会变化，有时其变化还比较大。这是因为少数载流子是由热运动产生的，它的密度随着温度的升高而增加。即当外加反向电压后，空间电荷区变宽，PN结电阻变大，处于截止状态。

综上所述，PN结加正向电压时，电流大、PN结导通；加反向电压时，电流小、PN结截止，这就是PN结的单向导电性。

这里还需指出，当PN结所加的反向电压不超过一定限度时，反向电流是很小的。但当外加反向电压一旦超过一定数值后，反向电流就会突然变大，这种情况叫做PN结的击穿。发生击穿时的电压称为击穿电压 U_B 。PN结一旦击穿，它便失去单向导电的特性。

（三）PN结电容

PN结除了具有单向导电特性外，还有一定的电容效应，通常把它叫结电容。结电容由两部分组成，一部分是由阻挡层引起的，叫势垒电容，其数值通常在 $0.5 \sim 100\text{pF}$ 范围内；另一

部分是由扩散的载流子形成的，叫扩散电容，其数值通常在几百 pF。结电容的大小与外加电压有关，当外加电压变化时，结电容也随之变化。

PN 结的电容效应，有其有益的一面和有害的一面。利用结电容随外加电压变化而变化的特性，可以制成变容二极管。变容二极管的电路符号如图 1-13 所示。在振荡电路里，可用改变电压的方法来改变 PN 结的电容，达到调整频率的目的。另一方面，结电容的存在会使 PN 结在工作频率很高时失去单向导电特性。因为电容对高频电流的容抗很小，高频电流会从结电容通过，如图 1-14 所示。

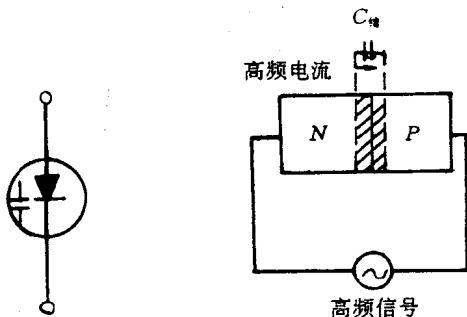


图 1-13 变容二极管的电路符号 图 1-14 PN 结的电容效应

二、晶体二极管

(一) 晶体二极管的结构

晶体二极管只有一个 PN 结，在一个 PN 结的两端加上引线，然后把它封装在管壳里，就做成了一个二极管，二极管的符号如图 1-15 所示。带箭头的一端表示 P 区引出线，叫正极；箭头表示正向电流的方向；竖线一端表示 N 区引出线，叫负极。

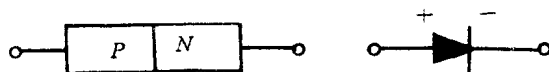
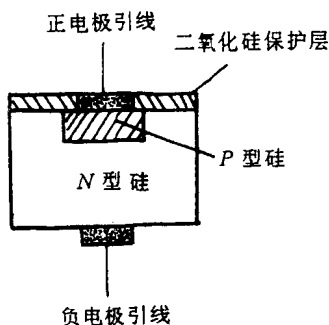
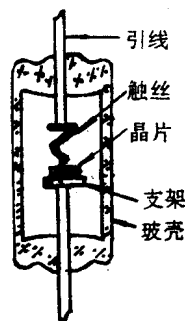


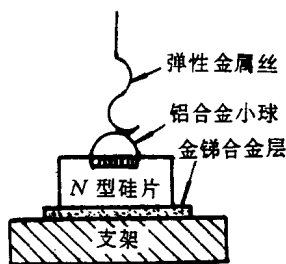
图 1-15 二极管符号



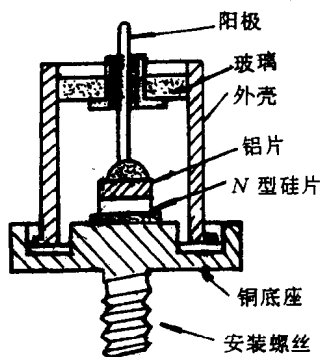
(a) 平面型开关管



(b) 点接触型开关管



(c) 面结型硅整流管



(d) 平面型大功率整流管

图 1-16 二极管的几种结构类型

图 1-16 画出了几种常用二极管的结构。图 1-16 (a)、(b) 是小功率二极管，分别称为平面型二极管和点接触型二极管。这两种二极管的 PN 结面积小，工作频率高，但允许通过的电流小，一般为几十毫安，多用于检波、开关元件。图 1-16 (c)、(d) 是中功率和大功率二极管，分别称为面结型二极管和平面型二极管，都允许通过较大的电流，一般在几百毫安到几百安培，适用于做大功率整流器，但工作频率较低。二极管及其它半导体器件命名方法见附录一。

(二) 晶体二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管电压与电流之间的关系。通常用曲线来形象地表示这种关系,称为“伏安特性曲线”。

二极管伏安特性曲线可用实验方法测得,测量电路如图 1-17 (a)、(b) 所示。图中 R 为限流电阻,用以防止电流过大而烧毁管子。可变电位器用来改变电压,并分别测出相应的电流,然后用纵坐标代表通过二极管的电流 I_D ,横坐标代表加在二极管上的电压 U_D ,如图 1-18 所示。我们把这条曲线,叫做二极管的伏安特性曲线。各种不同型号的二极管伏安特性曲线都具有类似的形状,大体上可分为正向特性、反向特性和反向击穿特性三个部分。

1. 正向特性

若在二极管两端加正向电压,当电压较小时(室温条件下,硅管小于 0.6V,锗管小于 0.2V),电流几乎不随电压的增加而增加,一般把这一段称为不导通区或死区,如图 1-18 曲线中 AB 段。随后,电流随电压增加近似按平方律增长,如图 1-18 曲线中 BC 段,一般称为非线性区。B 点所对应的电压叫导通电压或开启电压。在这以后,电压稍有增加,电流就增加很多,特性几乎是一条直线,如图 1-18 曲线中 CD 段,这一段称为线性区。

2. 反向特性

若在二极管两端加反向电压,当电压从零增大到 0.1V 时,反向电流稍有增加,随后反向电流不随电压增加而增大,而是保持一定数值,如图 1-18 曲线中 AE 段,这就是反向饱和电流 I_S 。硅二极管的反向饱和电流大致在纳安量级,锗二极管大致在微安量级。若 I_S 电流大,则表示该管子的单向导电性差。

反向电流有两个特点。首先,若外加反向电压在一定范围内变化时,反向饱和电流 I_S 基本保持不变;其次, I_S 对温度十分敏感,当外界温度升高时, I_S 增长很快,大约温度每升高 10°C , I_S 将增加一倍。

3. 反向击穿特性

当反向电压超过某一数值时,反向电流将急剧增长,出现击穿现象。对应于电流突变的这一点电压,称为二极管的反向击穿电压,在图 1-18 中用 U_B 表示。按击穿的原因不同,可分为齐纳击穿和雪崩击穿。

一般情况下二极管应避免发生反向击穿,但 PN 结击穿并不等于二极管损坏。不过如果没有一定的限流措施,如击穿后反向电流过大,就会因 PN 结过热而把二极管烧毁,这种现象叫热击穿或二次击穿。

这里需指出,二极管击穿(非热击穿)后,若电流在一定范围变化,二极管两端的电压可基本保持不变。正是利用二极管的反向击穿特性,可以制成稳压二极管(稳压管在第十二

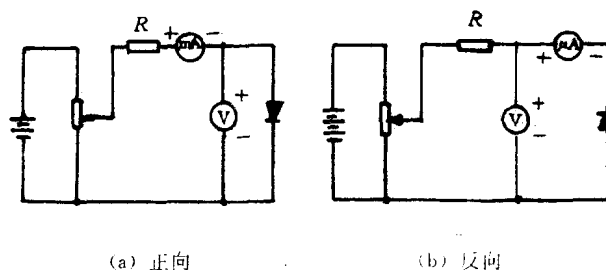


图 1-17 测量二极管伏安特性曲线的电路

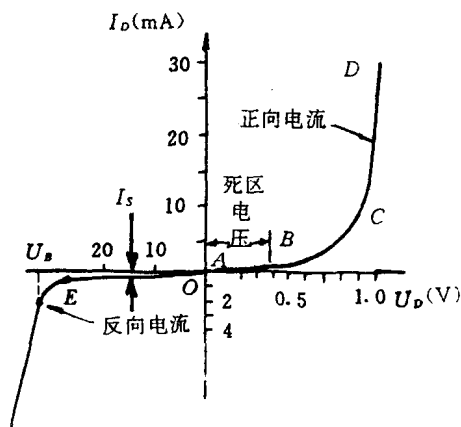


图 1-18 二极管伏安特性曲线