

湖北省师专电子技术协作组编

电子技术基础及实验

湖北科学技术出版社

电子技术基础及实验

湖北省师专电子技术协作组 编

湖北科学技术出版社

内 容 提 要

本书根据师范专科学校电子技术基础及实验教学大纲编写。全书共分十二章,除了用大量篇幅介绍了电子技术基础知识外,同时详细介绍了扩音机、收音机、电视机原理、整机电路分析,以及调试技术。从第九章起,介绍数字电子技术基础、数字电路基础、MOS集成电路和应用电子技术的电视部分,以及相应的实验。通过对各种半导体器件及电路分析,阐述了数字电子技术的基本概念、原理和基本分析方法。系统介绍了电视机的基本原理、主要电路和部件,以上各部分均有相应的电路实例和一定数量的例题和习题。

本书可作为高等师范、教育学院、职业大学、高师函授、无线电短训班的教材,也可作为从事无线电修理人员的自学读物、以及广大中学物理教师的参考资料。

电子技术基础及实验

湖北省师专电子技术协作组 编

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北科学技术出版社黄冈印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 27.75印张 678千字

1987年7月第1版 1989年1月第1次印刷

ISBN7-5352-0209-8/TN·9

15304·167

印数: 1—8 000 定价: 5.95元

前 言

1977年以来,没有正式出版过供师专使用的电子技术教材。师专一般都是借用综合大学理科的电子线路教材,使教学工作一直处于被动局面。

在湖北省教委高教一处的组织和大力支持下,我们根据国家教委制定的师专电子技术基础及实验教学大纲,本着理论与实践相结合的精神,充分注意到电子技术的新发展、新方向;结合师专学生的特点和培养目标及近年来的教学实践编写了这套教材。本教材包括晶体管原理、低频放大器的分析方法、负反馈放大器、功率放大器、调谐放大器与正弦振荡器、直流稳压电源、无线电广播与接收、脉冲技术、数字电路基础、金属—氧化物—半导体集成电路、电视等内容。书后还附有电子线路基础实验及扩音机、收音机、电视机等整机电路实验。

本书可作为师范院校、教育学院、职业大学、高师函授、无线电短训班的教材。也可以作为中学物理教师、无线电业余爱好者及从事无线电修理业务人员的自学读物。

本教材由武汉大学物理系副教授梁明理和湖北大学物理系副教授金以立主审,在修改和定稿过程中一直得到他们的指导。湖南常德师专金新桃老师,四川内江师专唐传英老师,江西萍乡教育学院陈培道老师也参加了审稿并提出了十分宝贵的修改意见。在此,一并表示衷心的感谢。

本教材第一、七两章由孝感师专刘显忠编写。第二章由鄂西大学黄文让编写。第三、四两章由黄冈师专查方焱编写。第五、十一章由咸宁师专王庭林编写。第六章由郧阳师专蒋天发编写。第八章由襄阳师专朱元镇编写。第九、十二两章由荆州师专刘庆祥编写。第十章由黄冈师专夏明编写。实验部分由黄冈师专夏明和宜昌师专蔡顺国编写。由于我们业务水平有限,加上时间仓促,书中错误之处,恳切希望读者给予批评指正。

编 者

1986年12月于武汉

目 录

第一章 晶体管原理	(1)
§ 1.1 半导体的导电特性	(1)
§ 1.2 PN结的形成及其特性.....	(4)
§ 1.3 晶体二极管	(7)
§ 1.4 晶体三极管	(11)
第二章 低频放大器的分析方法	(22)
§ 2.1 单管放大电路	(22)
§ 2.2 图解法分析放大器	(27)
§ 2.3 偏置电路及工作点的稳定	(33)
§ 2.4 放大器的等效电路分析法	(37)
§ 2.5 阻容耦合放大器	(46)
§ 2.6 场效应管放大器	(52)
第三章 负反馈放大器	(62)
§ 3.1 反馈的概念与分类	(62)
§ 3.2 负反馈对放大器性能的改善	(69)
§ 3.3 负反馈放大器的分析	(73)
第四章 功率放大器	(82)
§ 4.1 功率放大器分类及特点	(82)
§ 4.2 甲类单管功率放大器	(84)
§ 4.3 乙类互补对称功率放大器	(86)
§ 4.4 扩音机	(90)
第五章 调谐放大器与正弦波振荡器	(96)
§ 5.1 调谐放大器	(96)
§ 5.2 正弦振荡器.....	(117)
第六章 集成运算放大器	(137)
§ 6.1 直流放大器.....	(137)

§ 6.2 集成运算放大器·····	(150)
第七章 直流稳压电源 ·····	(164)
§ 7.1 整流电路·····	(164)
§ 7.2 滤波电路·····	(167)
§ 7.3 稳压管稳压电路·····	(171)
§ 7.4 晶体管稳压电路·····	(174)
§ 7.5 集成稳压电源·····	(179)
第八章 无线电广播与接收 ·····	(184)
§ 8.1 概述·····	(184)
§ 8.2 调幅与检波·····	(185)
§ 8.3 调频与鉴频·····	(189)
§ 8.4 变频·····	(192)
§ 8.5 超外差式收音机·····	(193)
第九章 脉冲技术 ·····	(200)
§ 9.1 概述·····	(200)
§ 9.2 RC电路·····	(201)
§ 9.3 晶体管开关及其简单电路·····	(205)
§ 9.4 张弛振荡器·····	(213)
§ 9.5 锯齿波发生器·····	(223)
第十章 数字电路基础 ·····	(232)
§ 10.1 逻辑门电路·····	(232)
§ 10.2 逻辑代数与数字电路的逻辑分析·····	(240)
§ 10.3 触发器·····	(251)
§ 10.4 基本数字部件·····	(259)
第十一章 金属——氧化物——半导体集成电路 ·····	(276)
§ 11.1 静态MOS反相器·····	(276)
§ 11.2 静态MOS电路·····	(279)
§ 11.3 动态MOS电路·····	(292)
§ 11.4 CMOS电路实际应用·····	(295)
第十二章 电视 ·····	(298)
§ 12.1 电视的发送·····	(298)
§ 12.2 晶体管黑白电视接收机组成·····	(307)
§ 12.3 高频头·····	(309)

§ 12.4 中频放大器	(316)
§ 12.5 视频检波器和自动增益控制电路	(318)
§ 12.6 视频放大器	(322)
§ 12.7 伴音电路	(326)
§ 12.8 同步分离与抗干扰电路	(331)
§ 12.9 扫描电路	(334)
§ 12.10 显象管附属电路	(352)
§ 12.11 电源电路	(353)
§ 12.12 电视接收天线	(354)
实 验	(360)
一、常用电子仪器的使用练习	(360)
二、单级放大器的安装与调试 (一)	(362)
单级放大器的安装与调试 (二)	(366)
三、负反馈放大器的研究	(370)
四、互补对称推挽功率放大器的调整与测试	(375)
五、实用集成运放音箱放大器的安装与调试	(378)
六、扩音机及电声器件使用	(382)
七、晶体管直流稳压电源安装与调整	(390)
八、集成运算放大器的应用	(395)
九、RC桥式振荡器的调整与测试	(397)
十、晶体管超外差收音机的安装与调整	(402)
十一、TTL常用门的逻辑功能	(406)
十二、组合逻辑电路的分析和验证	(410)
十三、计数器	(414)
十四、集成单稳态触发器与施密特电路	(417)
十五、锯齿波的产生与同步	(420)
十六、中频通道调试	(425)
十七、扫描电路的测试与调整	(428)
十八、晶体管电视机的调整和使用	(432)

第一章 晶体管原理

本章首先从晶体结构出发介绍本征半导体和N型、P型半导体的导电特性。接着讨论PN结的形成及其特性。最后介绍晶体二极管的结构、伏安特性和参数、交流等效电路，及晶体三极管的结构、电流分配关系和放大原理；并以共射电路为例，重点讨论三极管的特性曲线，介绍三极管的主要参数。

§ 1.1 半导体的导电特性

就物质的导电性而言，大体可分为导体、绝缘体和半导体三类。导体在常温下，其内部就有大量可以自由移动的荷电粒子，因此具有良好的导电性，如银、铜、铝、铁等就属于这一类；绝缘体中几乎没有可以自由移动的荷电粒子，因此几乎不能导电，象陶瓷、云母、橡胶、塑料等就属于这一类；半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，如硅、锗等就是优良的半导体。

半导体有许多独特的性质。例如受光或热激发，能使它的导电能力发生显著变化；在纯净的半导体中掺入微量杂质，其导电能力就会急剧增加。这些独特的性质引起人们极大的兴趣，利用这些特性制成各种各样的半导体器件，广泛应用于各类电子设备之中。

一、本征半导体的导电特性

非常纯净（纯度达99.99999%以上）的半导体称为本征半导体。现以硅和锗为例，讨论本征半导体的导电特性。

1. 本征半导体的晶体结构

硅原子核外共有14个电子，且分布成三层，最外层四个电子；锗原子核外共有32个电子，分布成四层，最外层也是四个电子。元素的化学性质主要由最外层电子决定，我们把最外层电子称为价电子；其它层电子受原子核的束缚很紧，通常与原子核一起成为很难分离的整体，这一整体称为惯性核。因此，原子可看成由惯性核和价电子组成。硅和锗都有四个价电子，它们的惯性核所带正的净电荷量等于四个电子电量，因此硅和锗的原子结构简化图相同，如图1—1—1所示。

大量的硅（锗）原子在一起形成晶体时，每一原子中的价电子在本身原子核与相邻原子核的共同作用下，不再分属哪个原子，而为晶体中相邻的原子所共有，这种现象称为电子共有化运动。由于共有化运动，就象两个相邻的原子各拿出一个价电子为二者所共有，形成二者联系的共价键。共价键即把相邻的原子牢固地联系在一起。硅（锗）元素的每一个原子都和相邻的四个原子构成四个共价键，相互结合成规整的、稳定的共价键晶体，如图1—1—2所示。

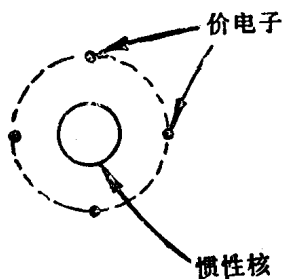


图 1-1-1 硅和锗原子结构简化图

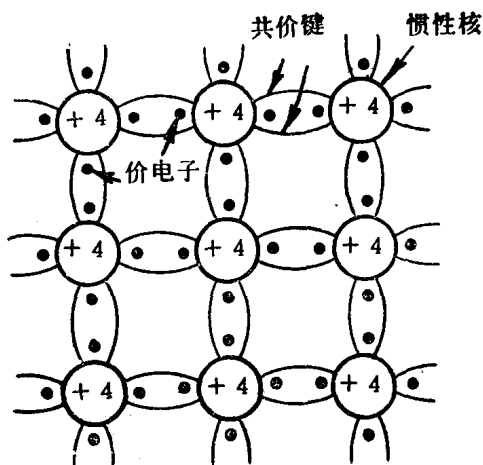


图 1-1-2 硅（锗）共价键结构示意图

共价键中的价电子，被束缚在两个原子之间，不给予额外的能量是不能自由移动的，因此称它们为束缚电子。本征半导体所有的价电子都在共价键中，所以在绝对零度（ $T = 0\text{K}$ ）和无外界激发时，上述硅（锗）晶体中没有自由电子，不能导电。

2. 本征激发产生自由电子—空穴对

当半导体受热或受光照射时，共价键中的束缚电子就从外界获得能量，其中的少数电子若获得足够的能量，就能挣脱共价键的束缚，离开原子而成为自由电子。价电子脱离共价键成为自由电子时，就在原共价键上留下一个缺少负电荷的空位——空穴（如图 1-1-3 所示）。可见，半导体受激时，自由电子和空穴是成对出现的，这种现象称为本征激发。

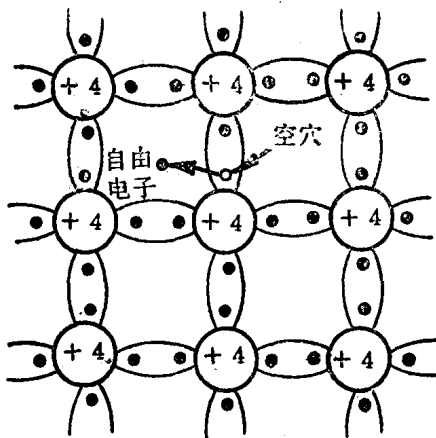


图 1-1-3 本征激发的电子—空穴对

由于空穴缺少一个电子的负电荷，于是可把它看成一个带正电荷的粒子，其电量与电子的电量相等。在共有化运动中，空穴附近的价电子很容易受吸引填补到这个空穴上，同时又在填补过来的价电子的原位置上出现一个新的空穴，这样依次填补，其效果就好象空穴的自由移动。所以，从导电的角度看，自由电子是带负电的载流子，而空穴是带正电的载流子。在没有外加电场时，自由电子和空穴的运动都是无规则的；在外加电场的作用下，自由电子和空穴将作互相反向的定向运动，同时参与导电。

一方面，本征激发不断产生自由电子—空穴对；另一方面，自由电子与空穴又会在运动中相遇，自由电子填入空穴，恢复共价键，使自由电子—空穴对消失，这现象称为复合。在一定的温度下，如果没有其他外界影响，自由电子—空穴对的产生和复合会达到动态平衡，载流子浓度保持一定数值。我们把本征激发产生的载流子叫做本征载流子；相应地，本征激发的自由电子浓度 n_i 和空穴浓度 p_i 就叫做本载流子浓度。由于自由电子与空穴是成对出现的，所以在本征半导体中 $n_i = p_i$ 。本征载流子浓度与半导体晶体的原子浓度相比是很微小的，例如，常温下，硅和锗原子浓度为 $4.96 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 和 $4.42 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ ，而硅和锗的本征载流子浓度为 $1.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 和 $2.4 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 。不过，温度升高时 n_i 将按指数规律增加，在室温附近硅每升高 8°C 、锗每升高 12°C ， n_i 增加一倍；光照增强时， n_i 也明显增大。

根据以上所述，本征半导体的导电特性可归纳如下：

①本征激发时，自由电子和空穴是成对产生的，故两种本征载流子的浓度相同为 n_i 。在外电场作用下，两种载流子相向运动，形成沿电场方向的电流。但因 n_i 不大，本征半导体的导电能力是很弱的。

② n_i 与半导体材料有关，而且受温度和光照的影响很大。这一方面使本征半导体可作成热敏和光敏元件，另一方面，它的热和光稳定性差又是应用中需要解决的突出问题。

二、杂质半导体的导电情况

掺有杂质的半导体，叫做杂质半导体。根据掺杂效果不同，杂质半导体可分为N型（电子型）半导体和P型（空穴型）半导体两类。

1. N型半导体

在硅（或锗）的晶体内掺入少量五价元素磷（或砷、锑）。每个磷原子在顶替晶格中的一个硅原子而与周围四个硅原子构成共价键时，必然多余一个价电子在共价键之外，如图1—1—4所示。磷原子对这个价电子的束缚较弱，只需少量的能量就可激发为自由电子。由于磷原子可以提供自由电子，因此称它为施主原子或施主杂质。在常温下，几乎所有的施主原子都释放出一个自由电子，它本身则成为晶格中一个不可移动的正离子。如果掺杂浓度为半导体原子浓度的百万分之一（这显然是微量掺杂），则在常温下施主原子提供的自由电子的浓度可达 $10^{16} / \text{cm}^3$ 数量级，此时，虽仍有本征激发，但常温下硅的本征载流子浓度只有 $10^{10} / \text{cm}^3$ 数量级，所以微量掺杂就可使半导体的导电性大大增强。掺入施主杂质的半导体中，自由电子的浓度远大于空穴浓度而成为多数载流子（简称多子），我们称这种多子是自由电子的杂质半导体为N型半导体（电子带负电，N是“负”——Negative的字头）。在N型半导体中，由于自由电子浓度大，空穴与之复合的几率也大，故空穴浓度比同温时本征半导体的空穴浓度还小。故N型半导体中的空穴是少数载流子（简称少子）。

2. P型半导体

若在硅（或锗）晶体中掺入少量三价元素硼（或铝、镓），则每个硼原子与周围四个硅原子构成共价键时，将有一个键上因缺少一个价电子而形成空穴，如图1—1—5所示。这些空穴很容易吸引附近的价电子来填充，形成空穴导电。由于这种杂质原子都能接受一个价电子，因此称它为受主原子或受主杂质。在常温下，几乎所有的受主原子都接受一个价电子而成为晶格中不能移动的负离子，同时也产生一个空穴参与导电，所以这种半导体中空穴与自由电子相比占绝对优势。我们称这种多子为空穴的杂质半导体为P型半导体（空穴带正

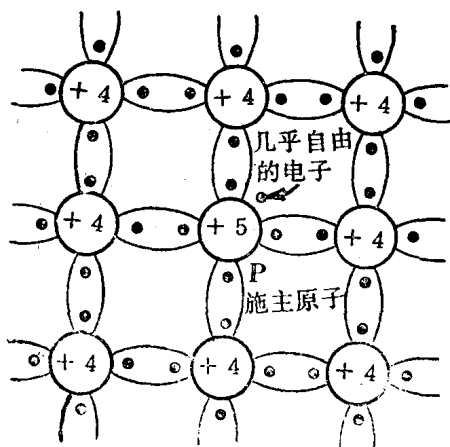


图 1-1-4 掺施主杂质形成N型半导体

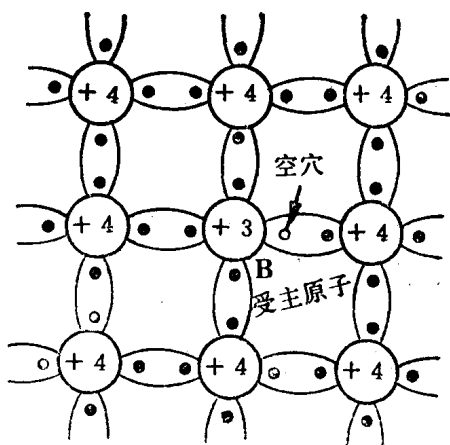


图 1-1-5 掺受主杂质形成P型半导体

电，P是“正”——Positive的字头）。

杂质半导体的导电特点可归纳如下：

①掺杂浓度与原子浓度相比虽然很小，却能使载流子浓度大大增加，导电能力也就显著增强。掺杂浓度越大，导电能力提高越多。

②掺杂与本征激发不同，它只使一种载流子的浓度增加，因此它主要靠多数载流子导电。

③就整块N型或P型半导体而言，仍然是电中性的。因为本征激发的两种载流子成对出现，而掺杂引起的载流子数与带等量相反电荷的离子数相等。

§ 1.2 PN结的形成及其特性

如果在一块本征半导体中，既掺施主杂质又掺受主杂质，则当施主杂质的浓度大于受主杂质浓度时，半导体属N型，反之半导体属P型。因此，在半导体器件生产中，常常利用一些特殊工艺，在一块本征半导体上掺以不同杂质，使一边成为N型，另一边成为P型，于是在两者的交界面附近形成一个PN结。由于PN结具有一些特殊性能，使它成为各种半导体器件的基础。

一、PN结的形成

1. 载流子的浓度差引起扩散运动

P区和N区交界面两边存在载流子浓度差：P区的空穴浓度大于N区、N区的自由电子浓度大于P区。于是，P区的空穴必然向N区扩散，而N区的自由电子也会向P区扩散，这就是多子的扩散运动，如图1—2—1。

2. 扩散运动形成空间电荷区——PN结

在扩散之前，P区和N区内部都是电中性的。由于多子扩散到对方，并与对方反型的多子复合，交界面附近的电中性被打破，在P区留下不能移动的受主负离子、在N区留下不能移动的施主正离子。因此扩散的结果，在P区和N区的交界面附近形成一个空间电荷区，如图1—2—2所示。我们称这个空间电荷区为PN结。空间电荷区的P区一边带负电荷，N区

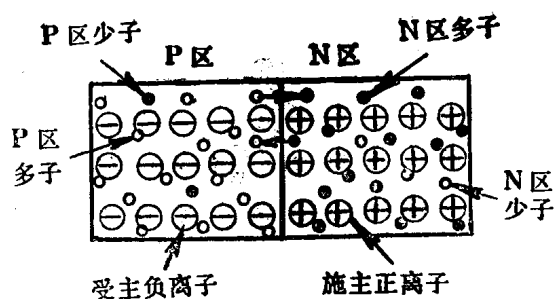


图 1-2-1 载流子浓度差引起的扩散运动

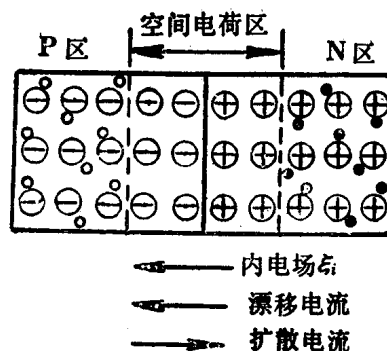


图 1-2-2 平衡状态下的PN结

一边带正电荷，于是形成由N区指P区的内电场——结电场 E_i 。

3. 在一定条件下，载流子在内电场作用下的漂移运动与浓度分布不均匀引起的扩散运动达到动态平衡。

PN结的内电场会使载流子受电场力而运动，这种运动称为漂移运动。从图 1-2-2 可以看出，漂移与扩散的方向是相反的，因此，在一定条件下会达到动态平衡，PN结空间电荷区的厚度达到一定值。因为空间电荷区的内电场力方向与扩散运动的方向是相反的，它阻挡扩散，所以PN结称为阻挡层；因为空间电荷区内的载流子几乎全部被扩散和复合掉——耗尽了，所以PN结也称为耗尽层；耗尽层内载流子极少，它就是一个电阻率很高的高阻区。

二、PN结的单向导电性

1. PN结加正向电压

给PN结外接正向电压——电源正极接P区、负极接N区——简称正偏，如图 1-2-3。由于PN结电阻率很高，而PN结以外维持电中性的P区和N区的电阻率较低，因此，外加电压 V 几乎全部降落在PN结上。外电压把P区的空穴和N区的自由电子推向PN结，使空间电荷中和掉一部分，于是空间电荷区厚度变窄，内电场被削弱，使扩散电流增加、漂移减弱，扩散大于漂移，二者之差就是由P区流向N区的正向电流 I_F 。漂移电流由少子形成，它与多子形成的扩散电流相比很小，因此，只要 V 足够高，就可认为 I_F 等于扩散电流。显然，正向电压 V 越大，空间电场就被削弱越多，正向电流 I_F 也就越大。

2. PN结加反向电压

如果给PN结外接反向电压——电源正极接N区、负极接P区——简称反偏，如图 1-2-4，则在外电压作用下，P区的空穴和N区的自由电子将背离PN结移动，使空间电荷区变厚，内电场增强，多子的扩散几乎完全被阻挡。这时的电流主要是由N区流向P区的少子漂移电流 I_R 。由于温度不变时少子浓度也不变，只要反向外加电压足以吸引全部少子，反向电流在一定范围内将不随外加反向电压的大小而变化，因此通常这时的反向电流为反向饱和电流 I_{R0} 。由于常温下少子的浓度很小，因此 I_{R0} 也很小；但因少子浓度随温度升高按指数规律增加，所以 I_{R0} 随温度升高而急剧增加。

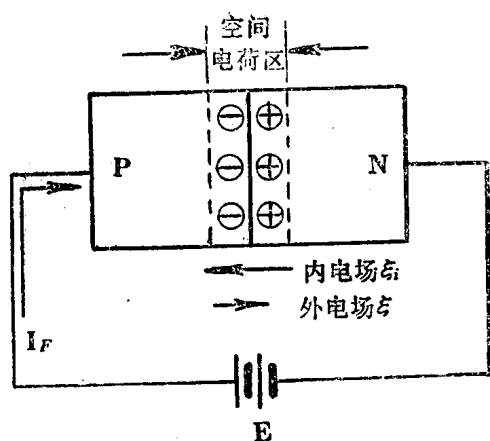


图 1-2-3 PN结加正向电压

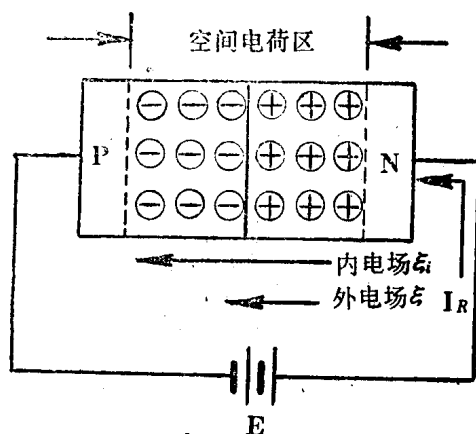


图 1-2-4 PN结加反向电压

综上所述，PN结加正向电压时，正向电流较大，而且随外加电压升高而急剧增加；PN结加反向电压时，反向电流微弱，而且在一定范围内与外加电压的大小无关。这就是说PN结有明显的单向导电性：正向电阻很小，反向电阻很大。

三、PN结电容

PN结除表现出单向导电性外，还有电容效应。电容效应包括两部分：势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 。

1. 势垒电容 C_B

PN结是个空间电荷区，外加电压变化时，空间电荷量和空间电荷区的厚度都随之改变。PN结表现出来的这个性质被称为势垒电容。外加正向电压时，空间电荷量减少，相当于势垒电容 C_B 放电；外加反向电压时，空间电荷量增加，相当于势垒电容 C_B 充电。PN结电阻率高，相当于介质。两侧的P区和N区电阻率低，相当于金属板，因此 C_B 与平行板电容类似。由于PN结厚度随外加电压变化，因此 C_B 是随外加电压变化的。这一点与平行板电容值不变是不相同的。

从电路上看， C_B 与结电阻 r_D 是并联的。PN结正偏时， C_B 大（因这时结的厚度小），但因结电阻很小， C_B 的影响可以不计；PN结反偏时， C_B 虽很小，但因这时结电阻很大， C_B 的影响很明显，在高频运用时必须予以考虑。

2. 扩散电容 C_D

PN结正偏时的电流，主要是由P区的空穴和N区的电子相互扩散形成的。空穴扩散到N区成为少数载流子，电子扩散到P区也成为少数载流子，于是PN结两侧的少数载流子会积累起来，形成一定的浓度差：结边缘处的浓度大，离结越远的地方浓度越小。这个浓度差越大，所得到的电流也越大。PN结的正向电压越高，扩散电流越大，少数载流子浓度差越大，PN结两侧积累的电荷就越多；PN结的正向电压越低，扩散电流越小，少数载流子浓度差越小，PN结两侧积累的电荷就越少。因此，外加电压改变时，PN结两侧载流子相应地有“补充”和“泄放”，这也是PN结的一种电容效应。因其由载流子扩散引起，故称为扩散电容。

势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 统称结电容。从电路上看，它们都与结电阻 r_D 并联。在PN结正偏时， $C_D \gg C_B$ ，主要是扩散电容 C_D 起作用；PN结反偏时， C_D 数值很小，可以忽略不

计,主要是势垒电容 C_B 起作用。

四、PN结的击穿特性

如果PN结的反向电压超过一定限度时,反向电流将突然急剧增大,而两端电压却变化很少。这种现象称为PN结的反向击穿。反向电流开始剧增所对应的反向电压 V_B 称为PN结的击穿电压。击穿后PN结就失去单向导电性;如果电路中不串联适当的限流电阻,电流将一直不断增大,直至PN结烧坏。

PN结的反向击穿大致可分为雪崩击穿和齐纳击穿两类。

1. 雪崩击穿

PN结的内电场随外加反向电压升高而增强,当反向电压增大到一定数值时,少子在电场作用下漂移加速所获得的动能将足够大,当其与中性原子碰撞时,可把原子中的价电子碰撞出来,产生自由电子—空穴对。新产生的自由电子—空穴对也会受电场加速,又去碰撞其它中性原子,又产生更多新的自由电子—空穴对。如此链锁反应使阻挡层内载流子突然急剧增加,反向电流也急剧增大。由于反向电流增大极快,象雪崩一样,因此称这种击穿为雪崩击穿。

2. 齐纳击穿

如果半导体掺杂浓度很高,PN结将很薄,它在反向电压较低时就有很强的内电场,足以把大量的中性原子的价电子从共价键中拉出来,产生电子—空穴对,因而使反向电流急剧增加。这种击穿称为齐纳击穿。

综上所述,雪崩击穿发生在掺杂浓度较低的情况下,击穿电压比较高;齐纳击穿发生在掺杂浓度很高的情况下,击穿电压比较低。

§ 1.3 晶体二极管

一、晶体二极管的结构

晶体二极管,又称为半导体二极管。它的核心是PN结,由PN结加上外侧的两个欧姆接触电极、引线及管壳构成。常用的二极管有点接触型、面结型和平面型几类,其结构如图1—3—1(a)至(c)所示,图1—3—1(d)是二极管符号。

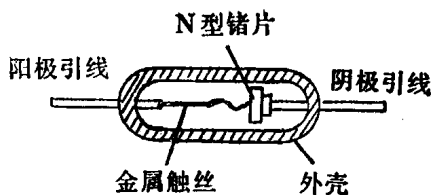
点接触型二极管是由一根很细的金属丝和一块N型锗或P型硅表面接触,然后通过很大的电流脉冲,使触丝尖端与半导体牢固地熔接在一起构成PN结,并做出相应的电极引线,外加管壳封装而成。点接触型二极管的结面积很小,结电容很小,但不能通过大的电流。主要用于小电流整流及高频检波、混频等。

面结型二极管(或称面接触型二极管)的PN结是用合金法制成的。它的结面积大,允许通过的电流大,但极间电容也大。因此,它只适用于低频电路中作大功率整流,不宜用于高频电路。

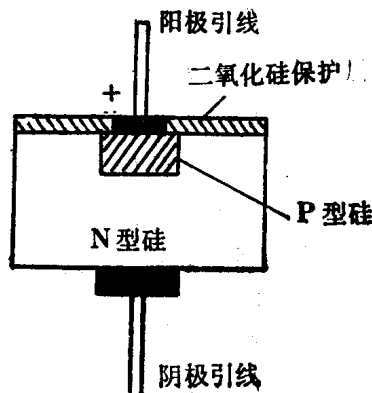
平面型二极管是用平面扩散法制成的。结面积较大的平面型二极管适用于大功率整流;结面积较小的平面型二极管,宜于用作脉冲数字电路中的开关管。

二、二极管的伏安特性

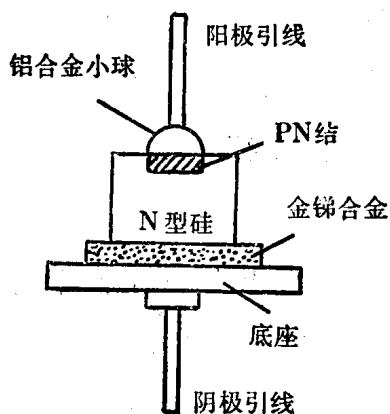
二极管的电流与端电压的关系,叫做二极管的伏安特性。伏安特性既可以采用图1—3



(a)



(c)



(b)



(d)

图 1-3-1 晶体二极管结构及符号

—2 的实验电路测得，也可以根据PN结理论近似得出：

$$I = I_{R0} (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (1-3-1)$$

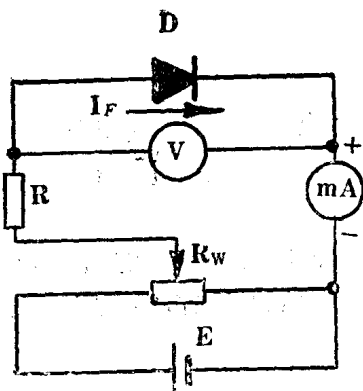
式 (1-3-1) 叫做二极管方程或伏安特性表达式。式中 I 为二极管电流， V 为相应的端电压， I_{R0} 是反向饱和电流， q 是电子电量， k 是玻尔兹曼常数， T 是二极管绝对温度。

图 1-3-3 是二极管的伏安特性曲线

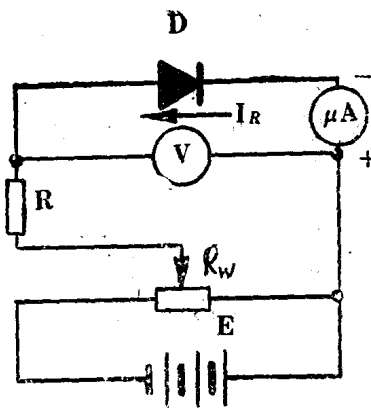
1. 正向特性 (图 1-3-3 (b) 的 OA 段)

① 在正向特性的起始部分，正向电压还较小时，外电场不足以克服内电场对载流子扩散的阻力，正向电流很微小，二极管呈现的电阻较大。只有当正向电压达到一定数值 V_Y 后，内电场被大大削弱，二极管的电阻变得很小，正向电流才开始显著增加。 V_Y 称为死区电压或接通电压，又称为门限电压或阈电压。硅管 $V_Y = 0.5 \sim 0.7V$ ，锗管 $V_Y = 0.1 \sim 0.3V$ 。

② 二极管外加正向电压超过死区电压 V_Y 后，其正向电阻就很小，即使工作到极限电流，

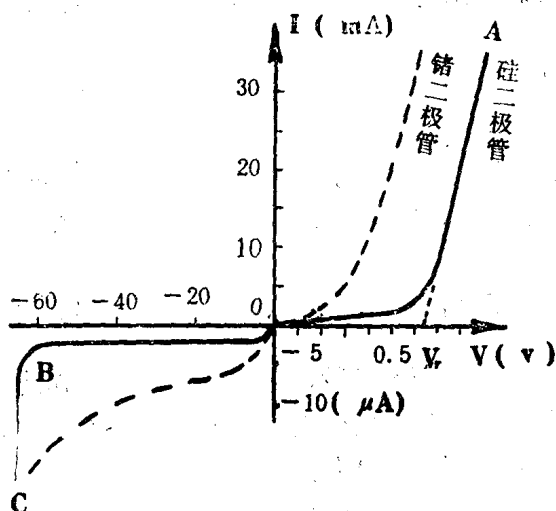
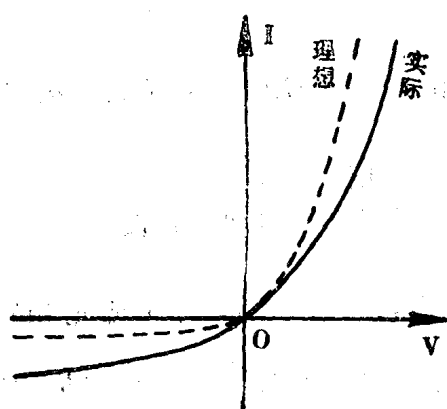


(a) 测量正向伏安特性的电路



(b) 测量反向伏安特性的电路

图 1-3-2



(a) 理想二极管与实际二极管的伏安特性曲线 (b) 硅二极管与锗二极管的伏安特性曲线

图 1-3-3 二极管的伏安特性曲线

正向压降也很小，大多在1.5V以下。

③只在电流较小时 I 随 V 按指数规律增长，当电流较大时， I 与 V 几乎成线性关系。硅管直线部分的斜率比锗管大一些。

2. 反向特性〔图 1-3-3 (b) 的OB段〕

二极管加反向电压时，反向电流很小。在同温下，硅管反向电流比锗管更小，前者 nA 级，后者 μA 级。

反向电流的特点之一是在一定范围内，反向电流基本上不随反向电压变化，特点之二是反向电流随温度上升而增长很快。

3. 反向击穿特性〔图 1-3-3 (b) 的BC段〕

当反向电压高到PN结的击穿电压 V_E 时，因外电场过强，从而破坏共价键把价电子拉出，使少数数目急剧增加，或使电子一空穴对雪崩式地增加，这都会使反向电流剧增，如不采取

限流措施, 将会造成管子永久性损坏。

三、二极管的主要参数及交流等效电路

1. 最大整流电流 I_{DM} 。是指二极管长期运用时允许通过的最大正向平均电流, 它由PN结的面积和散热条件决定。使用时通过二极管的平均电流不能超过 I_{DM} , 并要满足规定的散热条件, 否则会导致二极管损坏。

2. 最高反向工作电压 V_{RM} 。是指二极管安全工作(不击穿)的允许反向电压, 一般手册上给出的二极管最高反向工作电压约为构成它的PN结的反向击穿电压 V_B 的一半: $V_{RM} \approx \frac{1}{2}V_B$ 。

3. 反向电流 I_R 。是指二极管未击穿时反向电流的数值, I_R 越小, 管子的单向导电性越好。 I_R 受温度影响很大, 使用时应注意。

4. 直流电阻 R_D 。二极管的端电压 V 与流过二极管的电流 I 之比, 称为二极管的直流电阻: $R_D = \frac{V}{I}$ 。由于二极管的伏安特性并非线性, 因此 R_D 的大小与工作点 Q 有关: I 越大 R_D 越小。一般二极管正向 R_D 几十至几百欧、反向 R_D 几千欧至几百千欧。

5. 交流电阻 r_d 。二极管在其工作点附近的电压微变量 ΔV 与相应的电流微变量 ΔI 之比, 称为二极管的交流电阻: $r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ 。根据定义, 对照图1-3-4可知, 直流电阻 R_D 等于割线OQ的斜率倒数, 交流电阻 r_d 等于切线AB的斜率倒数。显然, 每一个工作点的 R_D 和 r_d 不相等, 工作点改变时 r_d 也改变。一般二极管的正向 r_d 很小: 几至几十欧或更小, 反向 r_d 很大: 几百千欧以上。

6. 二极管的极间电容。二极管的极间电容主要是PN结的结电容和扩散电容, 一般不考虑引线电容。

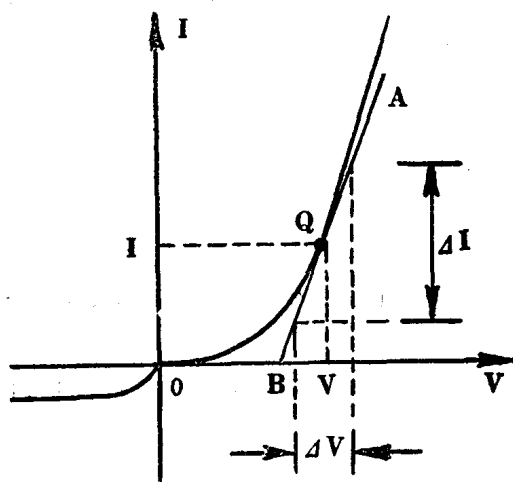


图1-3-4 二极管的直流电阻与交流电阻求法

7. 最高工作频率 f_{dM} 。是指二极管仍保持单向导电性的交流信号频率的上限。由于极