

高等学校试用教材

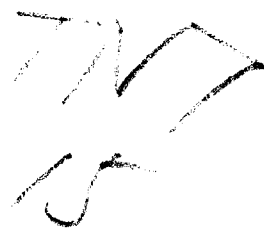
模拟与数字电路

电子线路简明教程

徐克服 黄庆元 主编

河南科学技术出版社

高等学校试用教材



模拟与数字电路

电子线路简明教程

徐克服 黄庆元 主编

河南科学技术出版社

顾问：班冀超 姚长安

副主编：刘德华 行小帅

编委：张茂松 赵春华 丁明芳 赵志训 李宗领 吴孝德

吴慎山 胡庆华 戴明生 郑世林 李建国 王银仓

崔醒环 王中唐 赵宗荣 李思俭 邱荣庆 康巨珍

主审：张宗根 邹士杰 罗凤林

模拟与数字电路

电子线路简明教程

主 编：徐克服 黄庆元

责任编辑：马文翰

河南科学技术出版社出版发行

(郑州花园路54号楼)

西安军航印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 17.25 印张 350 千字

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印数：1—6000册

ISBN7—5349—0319—X/T·320

定价4.80元

前 言

《电子线路简明教程》是一套适用于高等师范院校、教育学院的电子线路新教材。同时，也适宜电大、函大、职大有关专业使用。

它是由山西、安徽、河南、山东、湖北、湖南、陕西、天津、辽宁、内蒙、四川等省市部分师范院校、教育学院教师集体编写而成。

这套教材注重基本概念、基本理论和基本技能训练，注重面向更新、联系实际和有利于自学。

这套教材共包括：按72学时编的《模拟与数字电路》；按36学时编的《音响与电视》以及与其配套的《实验指导》。

书中标有“*”号的内容，不在计划学时内。实验20个，选作十二至十五个为宜，各校根据自己的实际情况自定。

由于编者水平有限，加之时间短促，书中一定存有不少错误和不妥之处，恳请广大师生批评指正。

编 者

1988.8.1

目 录

第一章 半导体器件

§ 1.1 半导体的导电性能	(1)
1.1.1 本征半导体	(1)
1.1.2 杂质半导体	(2)
1.1.3 PN结	(3)
§ 1.2 晶体二极管	(6)
1.2.1 二极管的结构	(6)
1.2.2 二极管的伏安特性	(6)
1.2.3 二极管的电容效应	(7)
1.2.4 二极管的主要参数和等效电路	(8)
1.2.5 稳压二极管	(10)
§ 1.3 晶体三极管	(11)
1.3.1 三极管的结构与分类	(11)
1.3.2 三极管内部载流子的运动规律	(11)
1.3.3 三极管的电流分配关系与放大作用	(12)
1.3.4 三极管的共发射极特性曲线	(14)
1.3.5 三极管的开关特性	(16)
1.3.6 三极管的主要参数	(18)
§ 1.4 场效应管	(21)
1.4.1 结型场效应管	(21)
1.4.2 绝缘栅型场效应管	(25)
*1.4.3 场效应管的主要参数	(28)
思考题与习题	

第二章 放大电路基础

§ 2.1 基本放大电路	(32)
2.1.1 基本放大电路的组成	(32)
2.1.2 直流通路与静态工作点	(33)
2.1.3 交流通路与动态	(34)
§ 2.2 放大电路的基本分析方法	(35)
2.2.1 图解法	(35)
2.2.2 微变等效电路分析法	(40)

§ 2.3 静态工作点的稳定	(49)
2.3.1 温度变化对静态工作点的影响	(49)
2.3.2 分压式电流负反馈偏置电路	(50)
§ 2.4 基本放大电路的三种组态	(53)
2.4.1 共集电极放大电路	(53)
2.4.2 共基极放大电路	(56)
§ 2.5 多级放大电路	(57)
2.5.1 多级放大电路的耦合方式	(57)
2.5.2 多级放大电路的电压放大倍数和输入、输出电阻	(59)
2.5.3 阻容耦合放大器的频率特性	(62)
§ 2.6 场效应管放大电路	(67)
2.6.1 静态工作点的分析	(67)
2.6.2 场效应管的微变等效电路	(69)
2.6.3 利用微变等效电路计算 A_v 、 r_i 、 r_o	(70)
§ 2.7 功率放大电路	(73)
2.7.1 功率放大电路的一般问题	(73)
2.7.2 互补对称功率放大电路	(74)
* 2.7.3 变压器耦合推挽功率放大电路	(79)
思考题与习题	

第三章 负反馈放大电路

§ 3.1 反馈的概念与种类	(88)
3.1.1 反馈的概念	(88)
3.1.2 负反馈放大电路的分类	(89)
§ 3.2 负反馈电路	(90)
3.2.1 电流串联负反馈电路	(90)
3.2.2 电压串联负反馈电路	(92)
3.2.3 电压并联负反馈电路	(93)
3.2.4 电流并联负反馈电路	(94)
3.2.5 负反馈放大电路的一般表达式	(96)
§ 3.3 负反馈对放大电路性能的影响	(97)
3.3.1 负反馈提高放大倍数的稳定性	(97)
3.3.2 负反馈展宽放大电路的通频带	(98)
3.3.3 负反馈改善非线性失真	(98)
3.3.4 负反馈改变放大电路的输入电阻和输出电阻	(99)
§ 3.4 负反馈放大电路的计算	(102)
* 3.4.1 利用方框图的计算法	(102)
3.4.2 深度负反馈放大电路的近似计算	(109)

思考题与习题

第四章 集成运算放大电路基础

- § 4.1 直接耦合放大电路的特殊问题····· (116)
 - 4.1.1 零点漂移现象及其产生····· (116)
 - 4.1.2 抑制零点漂移的措施····· (117)
- § 4.2 差动放大电路····· (117)
 - 4.2.1 射极耦合差动放大电路····· (117)
 - 4.2.2 恒流源差动电路····· (120)
 - 4.2.3 有共模负反馈的两级差动放大电路····· (120)
- § 4.3 集成运算放大电路····· (121)
 - 4.3.1 集成运放的基本概念····· (121)
 - 4.3.2 运放的基本组成····· (126)
 - 4.3.3 运放的典型电路分析····· (129)
 - * 4.3.4 运放的主要参数····· (131)
 - 4.3.5 运放在运算方面的应用····· (132)

思考题与习题

第五章 调谐放大电路

- § 5.1 调谐放大电路的分析基础····· (139)
 - 5.1.1 LC 并联回路的基本特性····· (139)
 - 5.1.2 三极管的高频等效电路····· (144)
- § 5.2 LC 调谐放大电路····· (145)
 - 5.2.1 单调谐放大电路····· (145)
 - * 5.2.2 双调谐放大电路····· (150)
 - 5.2.3 集成调谐放大电路····· (153)
- § 5.3 声表面波滤波器····· (154)

思考题与习题

第六章 正弦波振荡电路

- § 6.1 自激振荡原理····· (157)
 - 6.1.1 自激振荡的条件····· (157)
 - 6.1.2 自激振荡的建立和振幅的稳定····· (158)
 - 6.1.3 正弦波振荡电路的组成····· (158)
- § 6.2 LC 正弦波振荡电路····· (158)
 - 6.2.1 变压器反馈式振荡电路····· (158)
 - 6.2.2 三端式 LC 振荡电路····· (160)
- * § 6.3 石英晶体振荡器····· (164)
 - 6.3.1 石英晶体的基本特性和等效电路····· (164)

6.3.2 石英晶体振荡电路	(165)
§ 6.4 RC振荡电路	(166)
6.4.1 RC相移振荡电路	(167)
6.4.2 RC桥式振荡电路	(168)

思考题与习题

第七章 直流电源

§ 7.1 整流电路	(175)
7.1.1 桥式整流电路	(175)
7.1.2 倍压整流电路	(175)
§ 7.2 滤波电路	(177)
7.2.1 电容滤波电路	(178)
7.2.2 电感滤波电路	(179)
7.2.3 π 型滤波电路	(180)
7.2.4 有源滤波电路	(180)
§ 7.3 串联型晶体三极管稳压电路	(181)
7.3.1 简单串联型稳压电路	(181)
7.3.2 具有放大环节的串联型稳压电路	(182)
7.3.3 稳压电路的稳压系数和内阻	(183)
7.3.4 提高稳压电路性能的措施	(184)
§ 7.4 集成稳压电路	(186)
7.4.1 5G14集成块组成的稳压电路	(186)
7.4.2 W7800系列三端集成稳压电路	(188)
§ 7.5 开关型稳压电源	(188)
7.5.1 开关稳压电源的组成及稳压原理	(188)
7.5.2 几种开关电源的基本结构	(189)
7.5.3 开关稳压电源电路分桥	(190)

思考题与习题

第八章 数字电路基础

§ 8.1 计数制	(194)
8.1.1 二进制	(194)
8.1.2 8421BCD码	(195)
§ 8.2 基本逻辑关系和逻辑门	(195)
8.2.1 与逻辑和与门	(195)
8.2.2 或逻辑及或门	(197)
8.2.3 非逻辑及非门	(197)
8.2.4 基本复合门	(199)

8.2.5 逻辑函数化简法	(203)
§ 8.3 集成逻辑门	(208)
8.3.1 TTL 与非门	(208)
8.3.2 MOS 门电路	(211)
§ 8.4 触发器	(213)
8.4.1 基本RS触发器	(213)
8.4.2 同步RS触发器	(214)
8.4.3 主从触发器	(216)
8.4.4 维持阻塞D触发器	(218)
8.4.5 T触发器及不同类型触发器的相互转换	(220)
§ 8.5 组合逻辑电路	(221)
8.5.1 编码器	(222)
8.5.2 译码器	(223)
8.5.3 加法器	(227)
§ 8.6 时序逻辑电路	(228)
8.6.1 数码寄存器	(228)
8.6.2 移位寄存器	(229)
8.6.3 计数器	(231)
思考题与习题	

第九章 脉冲电路

§ 9.1 脉冲的基本概念	(236)
§ 9.2 RC电路暂态过程	(237)
9.2.1 RC 电路充放电过程	(237)
9.2.2 过渡过程公式	(237)
§ 9.3 脉冲波形的变换	(239)
9.3.1 RC 微分电路	(239)
9.3.2 RC 积分电路	(240)
9.3.3 限幅电路	(241)
9.3.4 钳位电路	(244)
* 9.3.5 脉冲分压电路	(245)
§ 9.4 多谐振荡器	(246)
9.4.1 环形多谐振荡器	(246)
9.4.2 RC 环形多谐振荡器	(247)
* 9.4.3 集-基耦合多谐振荡器	(249)
§ 9.5 单稳态触发电路	(250)
9.5.1 微分型单稳态电路	(251)
9.5.2 积分型单稳态电路	(252)

* 9.5.3 集—基耦合单稳态电路·····	(254)
§ 9.6 双稳态触发电路·····	(255)
9.6.1 与非门组成的施密特电路·····	(255)
* 9.6.2 集—基耦合双稳态电路·····	(256)
* 9.6.3 射极耦合双稳态触发电路·····	(258)
思考题与习题	

参考文献

第一章 半导体器件

半导体器件包括二极管、三极管、场效应管和集成电路等，它们是电子线路的重要组成部分。

§1.1 半导体的导电性能

半导体材料的种类很多，凡导电能力介于导体和绝缘体之间的物质都属于半导体。通常它的电阻率在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 之间。半导体之所以得到广泛应用，是因为它具有一些独特的性质；这就是它的导电能力受掺杂、温度和光照的影响十分显著。如纯净的半导体单晶硅在室温下电阻率约为 $2.14 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。若按百万分之一的比例掺入少量杂质（如磷）后，其电阻率急剧下降为 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，几乎降低了一百万万倍。

半导体具有上述性能的根本原因在于半导体原子结构的特殊性。

1.1.1 本征半导体

常用的半导体材料是单晶硅（Si）和单晶锗（Ge）。所谓单晶，是指整块晶体中的原子按一定规则整齐地排列的晶体。非常纯净的半导体单晶称为本征半导体。

一、本征半导体的原子结构

半导体锗和硅都是四价元素，其原子结构示意图如图1.1.1 (a)、(b)所示。它们的外层都有4个电子，带4个单位负电荷。通常把原子核和内层电子看作一个整体，称为惯性核，如图1.1.1 (c)所示。显然，惯性核带有4个正电荷。

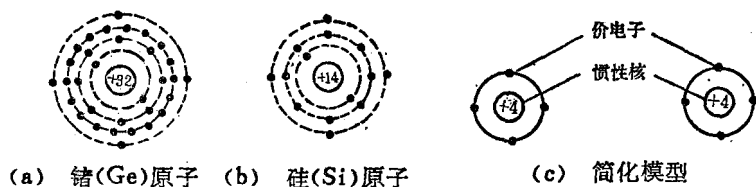


图 1.1.1 锗和硅原子结构模型

图1.1.2是本征半导体硅单晶体结构的平面示意图。由图可知它是原子晶体，各个原子彼此间距相等且整齐地排列起来，形成空间点阵。由于晶体中的原子与原子靠得很近，就使得每个原子外层的4个价电子不仅受本身原子核的约束，同时还受到与它相邻的原子的影响，发生价电子轨道交迭现象，从而形成了所谓“共有化运动”。这种结合方式称为共价键结构。因此，在每个原子核外层就等效地有8个价电子，从而形成了稳定状态，使价电子不易挣脱原子核的束缚。这正是本征半导体导电性能差的根本原因。

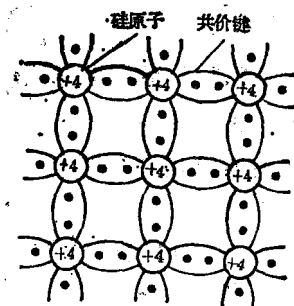


图 1.1.2 硅单晶的共价键结构

二、本征激发和本征导电

1. 本征激发

当温度 $T=0^{\circ}\text{K}$ 及无其他外界激发的条件下，本征半导体硅（或锗）的价电子因未能从外界获得能量，始终被束缚于共价键中，故无自由电子产生。这时本征半导体相当于绝缘体。在一定温度下，一些价电子，有可能获得足够的能量，挣脱共价键的束缚而成为自由电子。与此同时在原来的共价键位置上便留下一个空位，称为空穴，它带一个正电荷。从而形成了“电子-空穴”对。本征半导体产生“电子-空穴”对的过程称为本征激发，如图1.1.3所示。

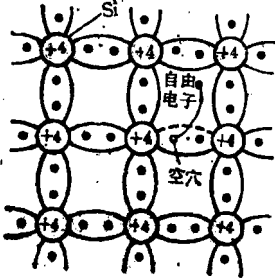


图 1.1.3 本征激发产生的电子-空穴对

在本征激发的过程中，温度越高，产生的“电子-空穴”对越多。电子和空穴是同时产生并成对出现的，自由电子和空穴的数量总是相等的。另一方面，当电子在运动中遇到了空穴就会填充进去，且重新结合而消失。这一过程称为复合。在一定温度下，“电子-空穴”对又产生，又复合，形成相对平衡，这种相对平衡属于动态平衡，即产生与复合的过程一直不断地进行，达到动态平衡时，“电子-空穴”对维持一定的数目。

2. 空穴的运动规律

在本征激发时，当一个价电子变为自由电子使原来的位置变为空穴时，附近的价电子很容易跳过来填补这个空位，并在自己原来的共价键处留下新的空穴。这种价电子依次从一个键向另一个键上转移中就形成了空穴移动。很显然，空穴移动的方向恰与电子移动的方向相反。由于电子或空穴在移动中使电荷发生了移动，所以它们又称为载流子。

由以上的分析可知，在半导体中存在着电子和空穴两种载流子，而金属导体中只有自由电子一种载流子。显然，这就决定了半导体与金属导电方式的不同。

3. 本征半导体导电

当在一块本征半导体的两端加上电压后，在外电路中将产生微弱的电流。这是因为空穴和电子将在外加电压产生的电场的作用下作定向运动，形成漂移电流。空穴与电子的漂移方向相反，但电流方向相同。若空穴电流为 I_p ，电子电流为 I_n ，这时总电流为 $I=I_p+I_n$ ，如图1.1.4所示。

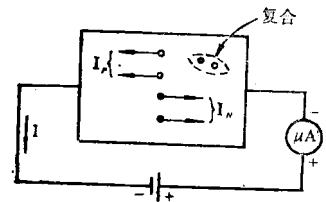


图 1.1.4 本征导电

1.1.2 杂质半导体

本征半导体的导电能力很弱，热稳定性也很差，因此，不宜直接用它制造半导体器件。半导体器件多数是用含有一定数量的某种杂质的杂质半导体制成。根据掺入杂质性质的不同，杂质半导体分为N型半导体和P型半导体两种。

一、N型半导体

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的5价元素（如磷），磷原子就取代了硅晶体中少量的硅原子，占据晶格上的某些位置。如图1.1.5所示。

由图可见，磷原子最外层有5个价电子，其中4个价电子分别与邻近4个硅原子形成

共价键结构，多余的一个价电子在共价键之外，只受到磷原子对它的较弱的束缚，因此在室温下即可获得挣脱束缚所需要的能量而成为自由电子，游离于晶格之间。失去电子的磷原子则成为不能移动的正离子。磷原子由于可以释放一个电子而被称为施主原子，又称施主杂质。

在本征半导体中每掺入一个磷原子就形成一个自由电子，而空穴的数目并未增加。这样，在掺入磷的半导体中，自由电子的数目就远远超过本征激发的空穴数目，成为多数载流子，空穴则为少数载流子。显然，参与导电的主要是电子，故这种半导体称为电子型半导体，简称N型半导体。

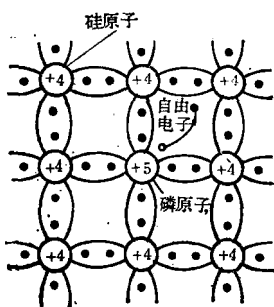


图 1.1.5 硅中掺磷形成 N 型半导体

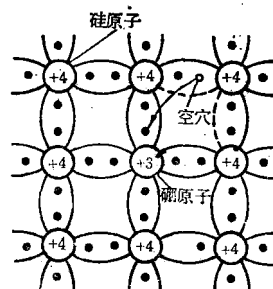


图 1.1.6 硅中掺硼形成 P 型半导体

二、P型半导体

在本征半导体硅（或锗）中，若掺入微量的 3 价元素（如硼），这时硼原子就取代了晶体中的少量硅原子，占据晶格上的某些位置，如图 1.1.6 所示。由图可知，硼原子的三个价电子分别与其邻近的三个硅原子中的三个价电子组成完整的共价键，而与其相邻的另一个硅原子的共价键中则缺少一个电子，相当于形成了一个空穴。这个空穴容易吸引附近硅原子中的价电子来填充，使三价的硼原子获得了一个电子而变成负离子。同时，邻近共价键上又出现一个空穴。由于硼原子起着接受电子的作用，故称为受主原子，又称受主杂质。

在本征半导体中每掺入一个硼原子就可以提供一个空穴，当掺入一定数量的硼原子时，就可以使半导体中空穴的数量远大于本征激发电子，成为多数载流子，而电子则成为少数载流子。显然，参与导电的主要是空穴，故这种半导体称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。

1.1.3 PN 结

一、PN 结的形成

当通过特定的工艺，将一块 P 型半导体和一块 N 型半导体有机地结合在一起时，在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面附近便形成了 PN 结，如图 1.1.7 (a) 所示。由于 P 区多数载流子是空穴，少数载流子是电子；N 区多数载流子是电子，少数载流子是空穴，这就使交界面两侧明显地存在着两种载流子的浓度梯度。因此，N 区的电子必然越过界面向 P 区扩散，并与 P 区界面附近的空穴复合而消失，在 N 区的一侧留下了薄薄一层不能移动的施主

正离子；同样，P区的空穴也越过界面向N区扩散，与N区界面附近的电子复合而消失，在P区的一侧，留下薄薄一层不能移动的受主负离子。如图1.1.7 (b)所示。扩散的结果，

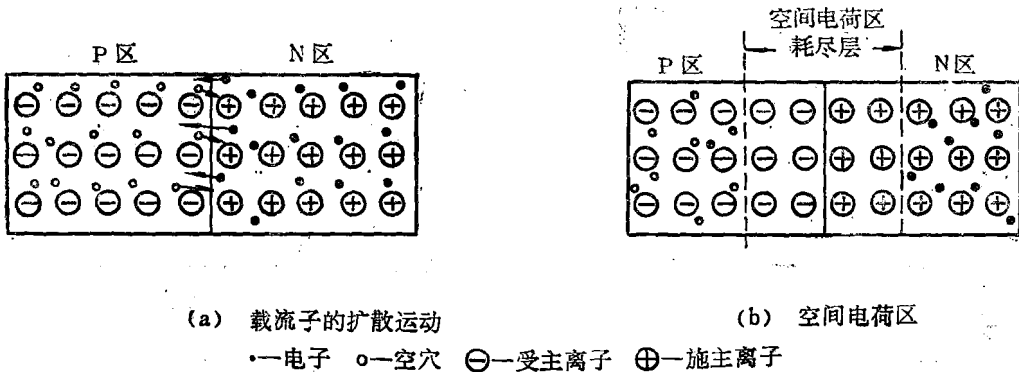


图 1.1.7 PN 结的形成

果，使交界面两侧形成了一个不能移动的，而且很薄的空间电荷区，这个空间电荷区就称为PN结。由于在此空间内的载流子已全部被复合，故称它为耗尽层。又由于不存在参与导电的载流子，其电阻率很高，所以又称为高阻区。

扩散运动使空间电荷区变宽，同时建立起一个方向由N区指向P区的内电场 $E_{内}$ 。而 $E_{内}$ 的形成将阻碍扩散的进行。因为在 $E_{内}$ 的作用下，N区的少数载流子（空穴）向P区作漂移运动，造成交界面左侧的空间负电荷减少；P区少数载流子（电子）向N区漂移，造成交界面右侧空间正电荷减少，其结果是使空间电荷区变窄，恰好与扩散运动使空间电荷区变宽的效果相反。开始时，扩散运动胜于漂移运动，随着扩散的进行，空间电荷区变宽，电荷增多，内电场增强，其结果使扩散运动被抑制，当漂移运动增强到与扩散运动相当时，扩散电流与漂移电流大小相等，方向相反。这种平衡是一种动态平衡。从宏观上看，通过交界面的总电流为零，空间电荷区的宽度也不再变化，形成了一个稳定的空间电荷区。它类似一个电势壁垒，常称之为“位垒”或“势垒”，它阻碍着PN结两边多数载流子扩散运动的进行。正因为如此，空间电荷区又称阻挡层。

值得强调的是PN结的相对稳定状态是在一定条件下形成的。当外界条件改变时，PN结的动态平衡也会随之发生变化。另外，界面两边空间电荷区的厚度与掺杂浓度有关，如果P区受主杂质浓度与N区施主杂质浓度相等，则PN结是对称的。如果P区与N区所掺杂浓度不等，则浓度小的一侧空间电荷区较宽，PN结是不对称的。

二、PN结的单向导电性

PN结在未加外电压时，扩散运动与漂移运动处于动态平衡，通过PN结的电流为零。当在PN结两端加外电压时，平衡状态被打破，PN结原来的宽度也将发生变化。

1. 外加正向电压

电源正极接P区，负极接N区时，称为给PN结加正向电压或正向偏置，如图1.1.8所示。由于PN结是高阻区，而P区和N区的电阻很小，所以正向电压几乎全加在PN结两端，在PN结上产生一个外电场 $E_{外}$ ，方向与内电场 $E_{内}$ 相反；在它的推动下，N区的电子要向左边

扩散，并与原来空间电荷区的正离子中和，使空间电荷区变窄。同样，P区的空穴也要向右边扩散，并与原来空间电荷区的受主离子中和，使空间电荷区变薄。结果使内电场减弱，破坏了PN结原有的动态平衡。于是扩散运动超过了漂移运动，扩散又继续进行。与此同时，电源不断向P区补充正电荷，向N区补充负电荷。结果在电路中形成了较大的正向电流 I_F ，而且 I_F 随正向电压的增大而增大。

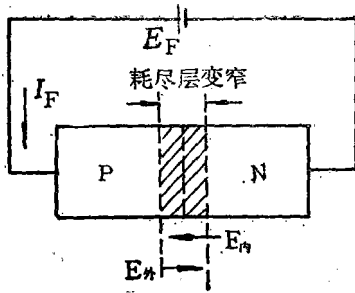


图 1.1.8 外加正向电压时的PN结

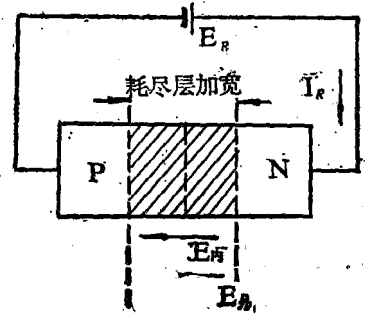


图 1.1.9 外加反向电压时的PN结

2. 外加反向电压

将电源正极接N区，电源负极接P区，称为给PN结加反向电压或反向偏置，如图1.1.9所示。反向电压产生的外加电场 E_R 的方向与内电场 E_n 的方向相同，使PN结内电场加强，它把P区的多子（空穴）和N区的多子（自由电子）从PN结附近拉走，使PN结进一步加宽，PN结的电阻增大，打破了PN结原来的平衡，在电场作用下的漂移运动大于扩散运动。这时通过PN结的电流，主要是少子形成的漂移电流，称为反向电流。由于在常温下，少数载流子的数量不多，故反向电流很小；而且当外加电压在一定范围内变化时，几乎不随电压的变化而变化，因此反向电流又称为反向饱和电流。当反向电流可以忽略时，就可认为PN结处于截止状态。值得注意的是，由于本征激发随温度的升高而加剧，导致电子-空穴对的增多，因而反向电流将随温度的升高而成倍增长。反向电流是造成电路噪声的主要原因之一，也是一个应当设法解决的问题。

综上所述，PN结正偏时，正向电流较大，相当于PN结导通。反偏时，反向电流很小，相当于PN结截止。这就是PN结的单向导电性。

三、PN结的击穿特性

当PN结上加的反向电压增大到一定数值时，反向电流突然剧增，这种现象称为PN结的反向击穿。PN结出现击穿时的反向电压称为反向击穿电压，用 V_B 表示。反向击穿可分为雪崩击穿和齐纳击穿两类。

1. 雪崩击穿

当反向电压较高时，结内电场很强，使得在结内作漂移运动的少数载流子获得很大的动能；当它与结内原子发生直接碰撞时，将原子电离，产生新的“电子-空穴”对。这些新的“电子-空穴”对，又被强电场加速再去碰撞其它原子，产生更多的“电子-空穴”对。如此链锁反应，瞬息间使结内载流子剧增，并在反向电压作用下作漂移运动，形成很

大的反向电流。这种击穿称为雪崩击穿。显然雪崩击穿的物理本质是碰撞电离。

2. 齐纳击穿

齐纳击穿通常发生在掺杂浓度很高的PN结内。由于掺杂浓度很高，PN结很窄，这样即使施加较小的反向电压（5V以下），结层中的电场却很强（可达 $2.5 \times 10^6 \text{V/m}$ 左右）。在此强电场作用下，会强行促使PN结内原子的价电子从共价键中拉出来，形成“电子-空穴”对，从而产生大量的载流子；它们在反向电压的作用下形成很大的反向电流，出现了击穿。显然，齐纳击穿的物理本质是场致电离。

采取适当的掺杂工艺，将硅PN结的雪崩击穿电压可控制在8~1000V。而齐纳击穿电压低于5V。在5~8V之间两种击穿可能同时发生。

§1.2 晶体二极管

1.2.1 二极管的结构

晶体二极管是在PN结上加接触电极、引线 and 管壳封装而成的。按其结构，通常有点接触型、面结合型和平面型三种，如图1.2.1所示。

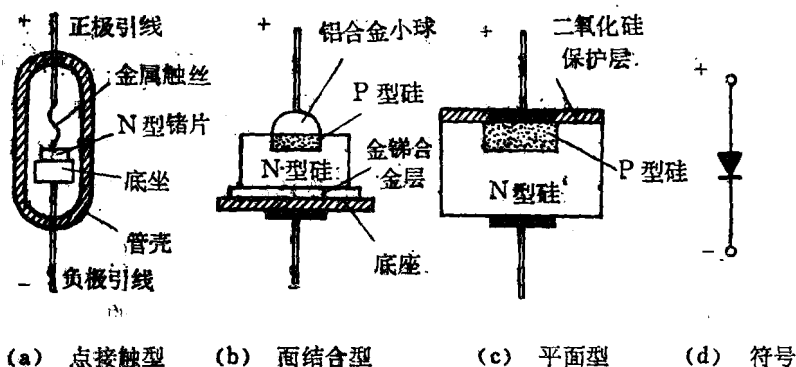


图 1.2.1 二极管的结构和符号

点接触型二极管的特点是：结面积小、结电容小，因而工作频率高，但允许通过的电流小，故适用于高频检波、混频。目前常用的2AP系列二极管，就是这一类型的二极管。

面接触型二极管的特点是：结面积大，结电容大，允许通过较大的正向电流，工作频率低，能承受较高的反向电压。适用于整流。目前使用的2CP和2CZ系列二极管，就是这种类型的二极管。

硅平面型管，由于工艺先进，不仅生产效率高，而且管子的漏电流小，其中结面积大的，可通过大电流，用作大功率整流；结面积小的，结电容小，适用于开关电路。

普通二极管的电路符号如图1.2.1(d)所示。有箭头的一端，表示二极管的P区，是正极；另一端为N区，是负极。

1.2.2 二极管的伏安特性

晶体二极管的伏安特性，表征流过二极管的电流 I 与二极管两极间所加电压 V 的关系。

在 I - V 坐标系中,表示这种关系的曲线称为二极管的伏安特性曲线。它可以通过实验的方法测绘出来,也可直接用晶体管特性图示仪描绘出来。典型的二极管伏安特性曲线如图1.2.2所示。

一、正向特性

由图可以看出,当所加的正向电压为零时,电流为零。当正向电压较小时,由于外电场远不足以克服PN结内电场对多数载流子扩散运动所造成的阻力,故正向电流很小,二极管呈现出较大的电阻。当正向电压增加到某一数值 V_T 时,内电场被显著削弱,二极管的电阻变得很小,电流开始显著增大,这个电压称为门限电压或接通电压,又称阈值电压。当 $V > V_T$ 以后,内电场进一步削弱,正向电流进一步增大。

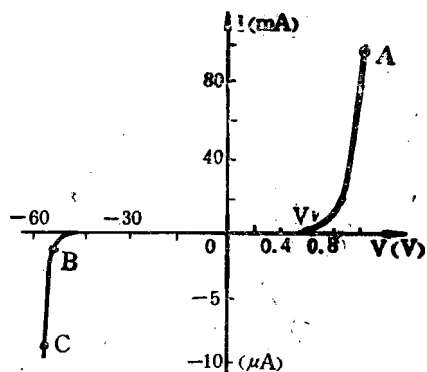


图 1.2.2 硅二极管2CP14的特性

在实际应用中,常把正向特性较直部分延长交于横轴的一点,定为门限电压 V_T 值,它与管子的材料和环境温度有关。在常温下,硅管的 V_T 约为0.5V左右,锗管的 V_T 约为0.1V左右。

二、反向特性

给二极管加上反向电压以后,PN结内电场进一步增强,使扩散更难进行。这时只有少数载流子在反向电压作用下的漂移运动,形成微弱的反向电流 I_R ,可以看出在一定电压范围内 I_R 不随反向电压的变化而变化,如图1.2.2中的0—B所示。在常温下,小功率硅管的 I_R 小于 $0.1\mu\text{A}$,锗管的 I_R 小于 0.1mA 。

三、反向击穿特性

当反向电压增到某一数值 V_B (反向击穿电压)时,反向电流突然剧增,表明二极管被反向击穿,如图1.2.2中的BC段所示。其特点是,虽然反向电流剧增,但二极管的端电压却变化很小,这一特点成为制作稳压二极管的依据。

四、二极管伏安特性的函数表达式

理论证明,二极管的伏安特性可以用下面的函数式近似表示:

$$I = I_s(e^{qV/KT} - 1) = I_s(e^{V/V_T} - 1) \quad (1.2.1)$$

式中 V 为外加电压, q 为电子电量($q=1.6 \times 10^{-19}$ 库), K 为玻尔兹曼常数($K=1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$), T 为绝对温度(K), I_s 为反向饱和电流(取决于温度和材料), I 为通过二极管的电流。 $V_T = KT/q$ 为温度的电压当量,在室温下, $V_T = 26\text{mV}$ 。

当正向电压 $V \gg V_T$ 时,式(1.2.1)可表示为 $I = I_s e^{V/V_T}$,即 I 与 V 成指数关系。

当反向电压 $|V| \gg V_T$ 时,式(1.2.1)可表示为 $I = -I_s$,即 I 不随 V 变化。

1.2.3 二极管的电容效应

二极管具有电容效应。它包括结电容 C_B (又称势垒电容)和扩散电容 C_D 。