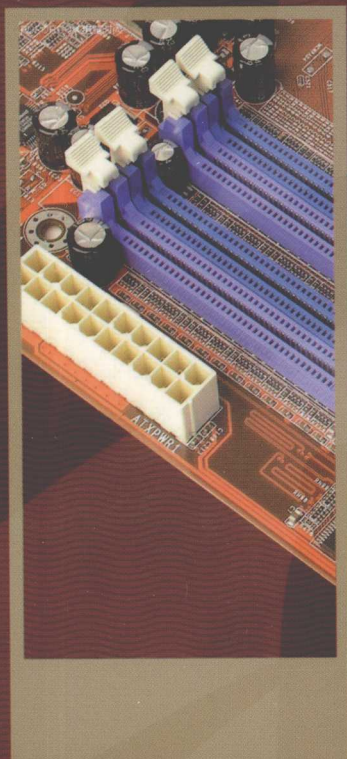


► 高等学校教材

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



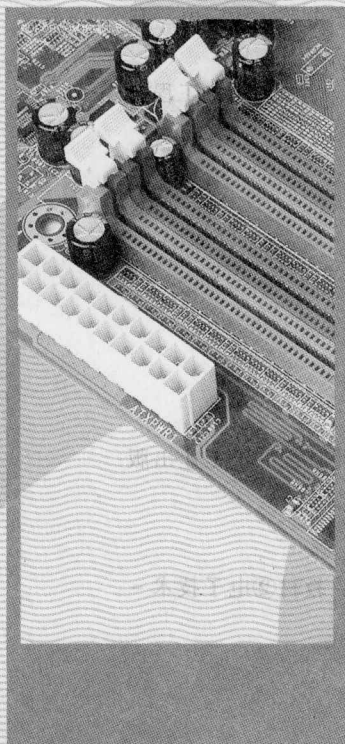
电工技术基础 与工程应用 · 电子技术

■ 戚新波 常文平 主 编
■ 张文豪 齐山成 郭 华 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

► 高等学校教材



电工技术基础 与工程应用 · 电子技术

■ 戚新波 常文平 主 编
■ 张文豪 齐山成 郭 华 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据高等院校电子电气相关专业“十二五”规划教材建设的精神和教学的需要,以职业岗位群的基本知识和核心技能为出发点,按照“工学结合、教学做”一体化的教学理念,本着“理论以必需、够用,注重实践应用”的原则,突出应用性、综合性和先进性,同时通过大量反映生产实际的例子对其进行仿真,以培养学生选择、设计和调试电路的能力,增强工程意识。

本书主要内容包括半导体晶体管 and 场效应管、交流放大电路及集成运算放大器、模拟电子电路的工程应用、EDA 技能训练、电力电子器件、电力电子电路、数字电路基础知识、逻辑电路的分析与设计、常用数字集成芯片及数字电路工程应用。

本书可作为高等学校相关专业的教学用书,也可供电子、电气工程类专业的工程技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础与工程应用·电子技术/戚新波,常文平主编. —北京:电子工业出版社,2011.3

ISBN 978-7-121-12904-9

I. ①电… II. ①戚… ②常… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 019178 号

策划编辑:张 剑

责任编辑:韩玲玲

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:370 千字

印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zls@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书编者为长期从事高等职业教育的教师和生产一线的工程技术人员，本教材以职业岗位群的基本知识和核心技能为出发点，按照“工学结合、教学做”一体化的教学理念，本着“理论以必需、够用，注重实践应用”的原则，在注重基本理论、基本概念、基本分析方法的基础上，突出应用性、综合性和先进性，同时通过大量反映生产实际的例子对其进行仿真，以培养学生选择、设计和调试电路的能力，增强工程意识。

本书由戚新波、常文平任主编，张文豪、齐山成、郭华任副主编。河南机电高等专科学校齐山成编写第1章和第2章的第1~6节，蒋炜华编写第2章的第7~8节，张文豪编写第3章，万留杰编写第4章，郭华编写第5章和第6章，戚新波编写第7章和第8章，常文平编写第9章和第10章。河南机电高等专科学校张文豪编写附录A。全书由戚新波统稿和主审。

本书在编写过程中，曾得到河南省电力公司和河南机电高等专科学校其他同行们的支持和帮助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评、指正。

目 录

第 1 章 半导体晶体管和

场效应管 1

1.1 半导体的基础知识 1

1.1.1 物理基础 1

1.1.2 本征半导体 1

1.1.3 杂质半导体 2

1.1.4 PN 结 4

1.2 晶体二极管 6

1.2.1 基本结构 6

1.2.2 伏安特性 6

1.2.3 主要参数 7

1.2.4 特殊二极管 7

1.3 晶体三极管与交流

放大电路 9

1.3.1 基本结构 9

1.3.2 电流放大作用 10

1.3.3 特性曲线 12

1.3.4 主要参数 14

1.4 绝缘栅场效应晶体管 14

小结 18

习题 19

第 2 章 交流放大电路及集成

运算放大器 22

2.1 基本放大电路的组成 22

2.2 放大电路的分析 23

2.2.1 放大电路的静态

分析 23

2.2.2 放大电路的动态

分析 25

2.3 放大器静态工作点的

稳定 30

2.4 射极输出器 34

2.4.1 静态分析 35

2.4.2 动态分析 35

2.5 多级放大电路及功率

放大电路 36

2.5.1 阻容耦合多级放大

电路 37

2.5.2 互补对称式功率

放大电路 39

2.6 负反馈放大电路 44

2.6.1 反馈的基本概念及

作用 44

*2.6.2 负反馈放大电路

应用中的几个

问题 49

2.7 差动放大电路及集成运算

放大器 52

2.7.1 直接耦合放大电路的

主要特点 52

2.7.2 差动放大电路的工

作原理 53

2.7.3 集成运算放

大器 55

2.8 运算放大器在电路中的

应用 58

2.8.1 运算放大器在信号运

算方面的应用 58

2.8.2 运算放大器在信号处

理方面的应用 64

小结 69

习题 72

第 3 章 模拟电子电路的工程

应用 78

3.1 半导体二极管的应用 78

3.1.1 半导体二极管应用

常识 78

3.1.2 半导体二极管应用 举例	78	使用	114
3.2 正弦波振荡电路	79	4.5.1 数字万用表 (Multi- imeter)	114
3.2.1 自激振荡	79	4.5.2 函数发生器 (Function Generator)	114
3.2.2 自激振荡及 条件	80	4.5.3 瓦特表 (Wattm- eter)	115
3.2.3 起振和稳幅	81	4.5.4 双通道示波器 (Osc- illoscope)	115
3.2.4 正弦波振荡电路的 基本组成	82	4.5.5 四通道示波器 (4 Ch- annel Oscillos- cope)	116
3.2.5 正弦波振荡 分析	82	4.5.6 波特图仪 (Bode Plotter)	116
3.2.6 RC 正弦波振荡 电路	83	4.5.7 频率计 (Frequency Couter)	117
3.2.7 LC 振荡电路	86	4.5.8 数字信号发生器 (Word Generator)	118
3.3 直流稳压电源	92	4.5.9 逻辑分析仪 (Logic Analyzer)	118
3.3.1 概述	92	4.5.10 逻辑转换器 (Logic Converter) ...	118
3.3.2 单相整流电路 ...	93	4.5.11 IV 分析仪 (IV Analyzer)	119
3.3.3 滤波电路	96	4.5.12 失真度仪 (Distortion Analyzer)	119
3.3.4 稳压电路	98	4.5.13 频谱分析仪 (Spectrum Analyzer)	120
小结	102	4.5.14 网络分析仪 (Network Analyzer)	120
习题	103	4.5.15 仿真 Agilent 仪器	121
第 4 章 EDA 技能训练—— Multisim 7 操作		4.6 Multisim 7 电路创建 方法	122
入门	107	4.7 Multisim 7 电路创建 实例	127
4.1 Multisim 发展简介	107	第 5 章 电力电子器件	129
4.2 Multisim 7 基本操作 ...	108	5.1 晶闸管	129
4.2.1 基本界面	108	5.1.1 电力电子器件的 分类	129
4.2.2 文件基本操作 ...	108		
4.2.3 元器件基本 操作	109		
4.2.4 文本基本编辑 ...	109		
4.2.5 标题栏编辑	109		
4.2.6 子电路创建	110		
4.3 Multisim 7 电路创建 ...	110		
4.3.1 元器件	110		
4.3.2 电路图	111		
4.3.3 导线	112		
4.3.4 输入/输出	113		
4.4 Multisim 7 操作界面 ...	113		
4.5 Multisim 7 仪器仪表			

5.1.2	晶闸管的基本结构与 工作原理	130	频器	153	
5.1.3	晶闸管的伏安 特性	131	6.3	交流调压电路	155
5.1.4	晶闸管的主要特性 参数	132	6.4	直流斩波电路	156
5.1.5	晶闸管的型号	134	6.4.1	降压变换电路	157
5.2	派生器件	134	6.4.2	升压式直流斩波 电路	158
5.2.1	门极可关断晶闸管 (GTO)	135	6.4.3	升降压式直流斩波 电路	159
5.2.2	双向晶闸管 (TRIAC)	135	小结	159	
5.2.3	逆导型晶闸管 (RCT)	136	习题	160	
5.2.4	快速晶闸管 (FST)	136	第7章	数字电路基础知识	162
5.2.5	光控晶闸管 (LTT)	137	7.1	数制与码制	162
5.3	新型电力电子器件	137	7.1.1	数制	162
5.3.1	电力晶体管	137	7.1.2	码制	164
5.3.2	电力场效应晶 体管	138	7.2	逻辑门概念	164
5.3.3	绝缘栅双极晶 体管	139	7.2.1	基本逻辑 运算	164
5.3.4	其他新型电力电子 器件	140	7.2.2	集成门电路	166
5.4	电力电子器件的保护	141	7.3	逻辑代数及化简	169
小结		144	7.3.1	逻辑代数的基本定律 和基本规则	169
习题		144	7.3.2	逻辑代数的化简和 证明	171
第6章	电力电子电路	146	小结	172	
6.1	相控整流电路	146	习题	173	
6.1.1	单相半波相控整流 电路	146	第8章	逻辑电路的分析与 设计	175
6.1.2	单相桥式相控整流 电路	148	8.1	组合逻辑电路的分析与 设计	175
6.1.3	三相相控整流 电路	149	8.1.1	组合逻辑电路的 分析	175
6.2	逆变电路	150	8.1.2	组合逻辑电路的 设计	176
6.2.1	有源逆变	150	8.2	触发器电路	179
6.2.2	无源逆变及变		8.2.1	触发器分类及 特点	180
			8.2.2	RS 触发器	180
			8.2.3	JK 触发器	183
			8.2.4	D 触发器	184

8.2.5	T 触发器	184
8.2.6	各触发器之间的 转换	185
8.3	时序逻辑电路的分析	185
	小结	188
	习题	189

第 9 章 常用数字集成

	芯片	190
9.1	编码器与译码器	190
9.1.1	编码器	190
9.1.2	译码器	192
9.2	数据选择器和分配器	193
9.2.1	数据选择器	193
9.2.2	数据分配器	195
9.3	加法器与数值比较器	195
9.3.1	加法器	195
9.3.2	数值比较器	197

9.4	计数器与寄存器	199
9.4.1	计数器	199
9.4.2	寄存器	204
9.5	555 定时器	207
9.6	模拟量和数字量的 转换	209
9.6.1	数-模转换器	209
9.6.2	模-数转换器	215
	小结	220
	习题	220

第 10 章 数字电路工程

	应用	222
10.1	组合逻辑电路的 实现	222
10.2	555 定时器应用	224

附录 A 课程设计手册

	课程设计手册	227
--	--------	-----



第1章 半导体晶体管和场效应管

半导体器件是近代电子学中的重要组成部分。半导体器件因具有体积小、质量轻、寿命长、反应迅速、灵敏度高、工作可靠等优点而得到广泛的应用。本章主要介绍二极管、三极管及场效应管的基本结构、工作原理、特征曲线和主要参数等。

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 物理基础

所有物质按照导电能力的差别可分为导体、半导体和绝缘体三类。半导体材料的导电性能介于导体和绝缘体之间。在自然界属于半导体的物质很多，用来制造半导体器件的材料主要有：元素半导体硅（Si）和锗（Ge），化合物半导体砷化镓（GaAs）等。导体的电阻率在 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下，如铜的电阻率为 $1.67 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，绝缘体的电阻率在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上，半导体的电阻率为 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。与导体的电阻率相比较，半导体的电阻率有以下特点。

1. 对温度反映灵敏（热敏性）

导体的电阻率随温度的升高而略有升高，如铜的电阻率仅增加 0.4% 左右，但半导体的电阻率则随温度的上升而急剧下降，如纯锗，温度从 20°C 上升到 30°C 时，电阻率降低一半左右。

2. 杂质的影响显著（掺杂性）

金属中含有少量杂质时其电阻率不会发生显著变化，但是，极微量的杂质掺在半导体中，会引起电阻率的极大变化。例如，在纯硅中加入百万分之一的硼，就可以使硅的电阻率从 $2.3 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 急剧减少到 $0.4 \Omega \cdot \text{cm}$ 左右。

3. 光照可以改变电阻率（光敏性）

例如，有些半导体（如硫化镉）受到光照时，其导电能力会变得很强；当无光照时，又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性可以制成光敏元件。而金属的电阻率则不受光照的影响。

温度、杂质、光照对半导体电阻率的上述控制作用是制作各种半导体器件的物理基础。

1.1.2 本征半导体

完全纯净的、具有完整晶体结构的半导体，称为本征半导体。

硅或锗是四价元素，其最外层原子轨道上有四个价电子。在本征半导体的晶体结构中，相邻两个原子的价电子相互共有，即每个原子的四个价



电子既受自身原子核的束缚,又为相邻的四个原子所共有;每两个相邻原子之间都共有一对价电子。这种组合方式称为共价键结构,图 1-1 所示为单晶硅共价键结构的平面示意图。

在共价键结构中,每个原子的最外层虽然具有八个电子而处于较为稳定的状态,但是共价键中的价电子并不像绝缘体中的电子被束缚得那样紧,在室温下,有极少数价电子由于热运动能获得足够的能量而脱离共价键束缚成为自由电子。

当一部分价电子挣脱共价键的束缚而成为自由电子后,共价键中就留下相应的空位,这个空位被称为空穴。原子因失去一个价电子而带正电,也可以说空穴带正电。在本征半导体中,电子与空穴总是成对出现的,它们被称为电子空穴对,如图 1-2 所示。如果在本征半导体两端加上外电场,半导体中将出现两部分电流:一部分是自由电子产生定向移动,形成电子电流;另一部分是由于空穴的存在,价电子将按一定的方向依次填补空穴,亦即空穴也会产生定向移动,形成空穴电流。所以说,半导体中同时存在着两种载流子(运载电荷的粒子为载流子)——电子和空穴,这是半导体导电的特殊性质,也是半导体与金属在导电机理上的本质区别。

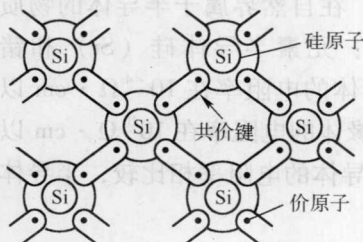


图 1-1 单晶硅的共价键结构

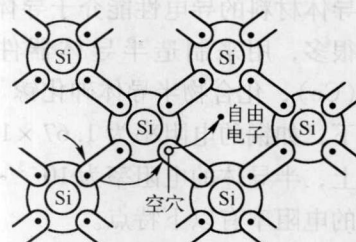


图 1-2 电子空穴对的形成

1.1.3 杂质半导体

在本征半导体中,如果掺入微量的杂质(某些特殊元素),则将使掺杂后的半导体(杂质半导体)的导电能力显著改变。根据掺入杂质性质的不同,杂质半导体分为电子型半导体(N型)和空穴型半导体(P型)两大类。

1. N型半导体

若在纯净的硅晶体中掺入微量的五价元素(如磷),则硅原子占有的某些位置会被掺入的微量元素(如磷)原子所取代。而整个晶体结构基本不变。磷原子与硅原子组成共价键结构只需四个价电子,而磷原子的最外层有五个价电子,多余的那个价电子不受共价键束缚,只需获得很少的能量就能成为自由电子。由此可见,掺入一个五价元素的原子,就能提供一个自由电子。必须注意的是,产生自由电子的同时并没有产生空穴,但由于热运动原有的晶体仍会产生少量的电子空穴对。所以,只要在本征半导体中掺入微量的五价元素,就可以得到大量的自由电子,且自由电子数目远比掺杂前的电子空穴对数目要多得多。自由电子导电为主要导电方式的杂质半导体称为电子型半导体,简称N型半导体。N型半导体中存在着大量



的自由电子，这就提高了电子与空穴的复合机会，相同温度下空穴的数目比掺杂前要少。所以，在N型半导体中，电子是多数载流子（简称多子），空穴是少数载流子（简称少子），如图1-3（a）所示。N型半导体主要靠自由电子导电，掺入的杂质浓度越高，自由电子数目越大，导电能力也就越强。

在N型半导体中，一个杂质原子提供一个自由电子，当杂质原子失去一个电子后，就变为固定在晶格中不能移动的正离子，但它不是载流子。因此，N型半导体就可用正离子和与之数量相等的自由电子表示，如图1-3（b）所示。其中也有少量由热激发产生的电子空穴对。

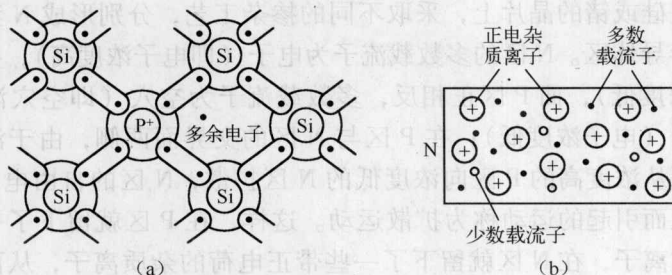


图1-3 单晶硅中掺五价元素形成N型半导体

2. P型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体内掺入微量的三价元素硼（或镓），因硼原子的最外层有三个价电子，所以当它与周围的硅原子组成共价键结构时，会因缺少一个电子而在晶体中产生一个空穴，掺入多少三价元素的杂质原子，就会产生多少空穴。因此，这种半导体将以空穴导电为其主要导电方式，称为空穴型半导体，简称P型半导体。所以，P型半导体是空穴为多子、电子为少子的杂质半导体，如图1-4（a）所示。必须注意的是，产生空穴的同时并没有产生新的自由电子，但原有的晶体仍会产生少量的电子空穴对。

P型半导体中，一个三价元素的杂质原子产生一个空穴，杂质原子产生的空穴很容易被相邻共价键中的电子来填补，这样，杂质原子就会因获得一个电子而带负电荷，成为带有负电荷的杂质离子。因此，P型半导体可以用带有负电荷而不能运动的杂质离子和与之数量相等的空穴表示。其中有少量由热激发而产生的电子空穴对，如图1-4（b）所示。P型半导体主要靠空穴导电，掺入的杂质浓度越高，空穴数目越大，导电能力也就越强。

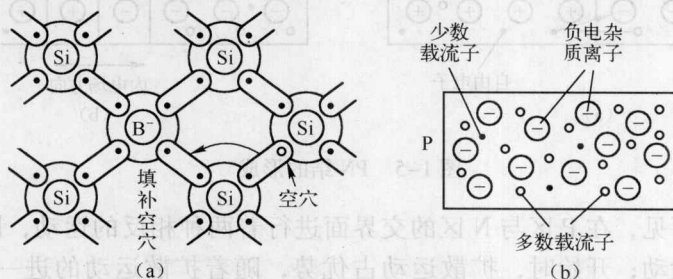


图1-4 单晶硅中掺三价元素形成P型半导体



从以上分析可知,不论N型半导体还是P型半导体,其导电能力是由多子的浓度决定的。可以认为,多子的浓度约等于掺杂原子的浓度,它受温度的影响很小。

1.1.4 PN 结

在一块硅片上采用不同的掺杂工艺,一边形成N型半导体,一边形成P型半导体,则在两种半导体的交界面附近形成PN结;PN结是构成各种半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

在一块硅或锗的晶片上,采取不同的掺杂工艺,分别形成N型半导体区和P型半导体区。N区的多数载流子为电子(即电子浓度高),少子为空穴(空穴浓度低),而P区正相反,多数载流子为空穴(即空穴浓度高),少子为电子(电子浓度低);在P区与N区的交界面两侧,由于浓度的差别,空穴要从浓度高的P区向浓度低的N区扩散,N区的自由电子要向P区扩散,从而引起的运动称为扩散运动。这样,在P区就留下了一些带负电荷的杂质离子,在N区就留下了一些带正电荷的杂质离子,从而形成一个空间电荷区。这个空间电荷区就是PN结。在空间电荷区内,只有不能移动的杂质离子而没有载流子,所以空间电荷区具有很高的电阻率,如图1-5所示。

空间电荷区形成了一个从带正电荷的N区指向带负电荷的P区的电场,称为内电场。显然,不论P区的多子空穴,还是N区的多子电子,在扩散过程中通过空间电荷区时,都要受到内电场的阻力。内电场阻止多数载流子的继续扩散。因此,随着扩散运动的进行,空间电荷区将不断变宽,内电场将不断加强,扩散运动将不断减弱。另一方面,内电场的存在,使少子产生漂移运动;P区的少数载流子电子向N区漂移,N区的少数载流子空穴向P区漂移;少数载流子在内电场作用下产生的定向运动称为漂移运动。不论P区的少子电子,还是N区的少子空穴,在内电场作用下向对方漂移的结果,都会导致空间电荷区变窄、内电场削弱。

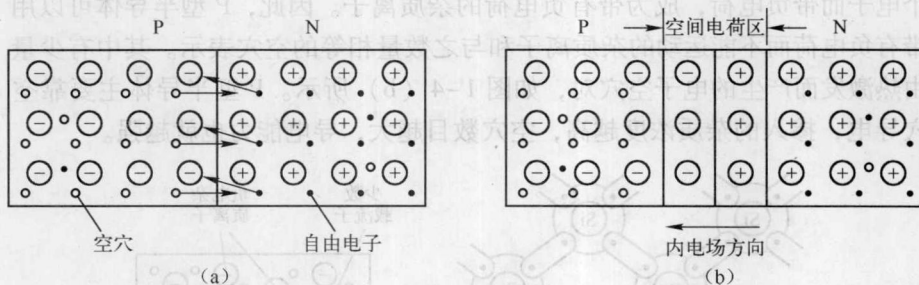


图1-5 PN结的形成

由此可见,在P区与N区的交界面进行着两种相反的运动,即扩散运动和漂移运动;开始时,扩散运动占优势,随着扩散运动的进一步进行,内电场不断加强,迫使扩散运动逐渐减弱。随后,内电场的加强更有利于少数载流子的漂移运动。而在一定温度下,少子的数目是有限的,所以在



交界面进行的两种相反的运动——扩散与漂移，最终会达到动态平衡。这时，空间电荷区的宽度将不再变化，内电场将为某一稳定的值。

2. PN 结的单向导电性

若在 PN 结两端外加电压，则将会破坏 PN 结原有的平衡。如图 1-6 (a) 所示，P 区接电源正极，N 区接电源负极，由于外电场的方向与内电场的方向相反，所以在外电场的作用下，P 区的空穴要向 N 区移动，与一部分杂质负离子中和，同样，N 区的电子也要向正空间电荷区移动，与一部分杂质正离子中和。结果使空间电荷区变窄，内电场被削弱，有利于多数载流子的扩散运动，形成较大的正向电流。在一定范围内，外加电压越高，外电场越强，空间电荷区就越窄，扩散运动所形成的正向电流也就越大。因此，加正向电压时，PN 结呈低电阻而处于导通状态。空穴与电子虽然带有不同极性的电荷，但由于它们运动的方向相反，所以形成的电流方向是一致的，PN 结的正向电流为空穴电流和电子电流两部分之和。电流方向由 P 区指向 N 区。

若外接电压方向相反，即如图 1-6 (b) 所示，N 区接电源正极，P 区接电源负极，则外电场方向与内电场方向一致。外电场加强了内电场，结果阻止多子的扩散，有利于少子的漂移运动，使空间电荷增加，空间电荷区变宽。P 区的少子电子和 N 区的少子空穴都会向对方漂移而形成反向电流（由 N 区指向 P 区）。因少数载流子的数量很少，所以反向电流一般很小。但由于少数载流子的数目受温度的影响很大，温度越高，少数载流子的数目就越多，反向电流就会相应增大。因此，在 PN 结外加反向电压时，PN 结呈高阻状态而处于反向截止。

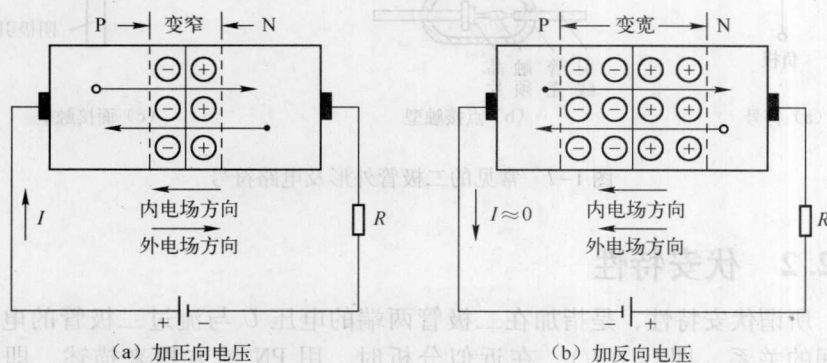


图 1-6 PN 结加正向电压与加反向电压

由此看来，PN 结正向电阻较小，反向电阻很大，具有单向导电性。但反向电流受温度的影响很大。

3. PN 结方程

根据理论分析，PN 结两端电压和流经 PN 结的电流之间有如下关系：

$$I = I_s (e^{U/U_T} - 1)$$

式中， I_s 是反向饱和电流； $U_T = kT/q$ 是温度电压当量，其中， T 是热力学温度， q 是电子的电量，在 T 为 300K 时， $U_T \approx 26\text{mV}$ 。



4. PN 结的反向击穿

PN 结处于反向偏置时,在一定范围的反向电压作用下,流过 PN 结的电流是很小的反向饱和电流。但当反向电压超过某一数值后,反向电流会急剧增加,这种现象称为反向击穿。

✓+ 1.2 晶体二极管

1.2.1 基本结构

将 PN 结的两端加上电极引线并用外壳封装,就组成了一只晶体二极管。由 P 区引出的电极为正极(又称阳极),由 N 区引出的电极为负极(又称阴极)。常见的二极管外形及电路符号如图 1-7 所示。

通常,二极管有点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管(一般为锗管)的特点是:PN 结面积小,结电容小,因此只能通过较小的电流;适用于高频(几百兆赫)工作。

面接触型二极管(一般为硅管)的特点是:PN 结面积较大,能通过较大的电流,但结电容也大;常用于频率较低、功率较大的电路中。

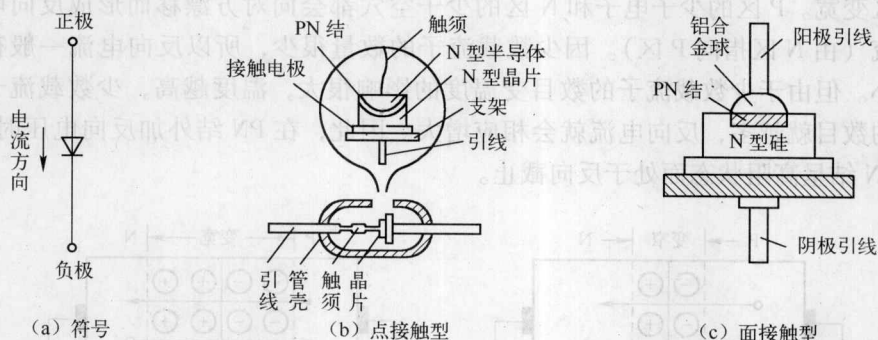


图 1-7 常见的二极管外形及电路符号

1.2.2 伏安特性

所谓伏安特性,是指加在二极管两端的电压 U 与流过二极管的电流 I 之间的关系,即 $I=f(U)$ 。在近似分析时,用 PN 结方程来描述,即 $I=I_s(e^{U/U_T}-1)$ 。

二极管就是一个 PN 结,当然具有单向导电性。2CP12(普通型硅二极管)和 2AP9(普通型锗二极管)的伏安特性曲线如图 1-8 所示。

1. 正向特性

在正向特性的起始部分,由于外加电压很小,外电场还不足以削弱内电场,所以多数载流子的扩散运动还不能得到加强,正向电流几乎为零。当正向电压超过某一数值后,内电场被大为削弱,正向电流迅速增大。这个数值的电压称为二极管的门坎电压(又称为死区电压),一般硅管的门坎电压约为 0.5V,锗管的门坎电压约为 0.2V。

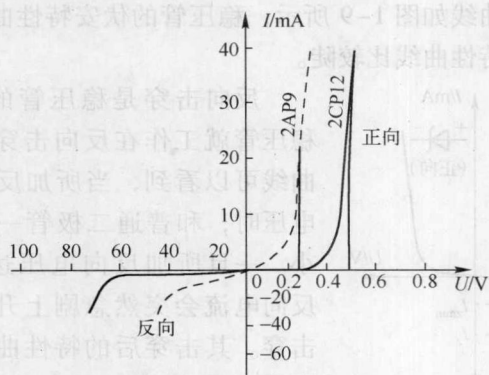


图 1-8 二极管的伏安特性曲线

二极管一旦正向导通后,只要正向电压稍有变化,就会使正向电流变化较大,二极管的正向特性曲线很陡。因此,二极管正向导通时,管子上的正向压降不大,正向压降的变化很小,一般硅管约为 $0.6 \sim 0.7\text{V}$,锗管约为 0.3V 左右。因此,在使用二极管时,如果外加电压较大,一般要在电路中串接限流电阻,以免产生过大的电流而烧坏二极管。

2. 反向特性

从伏安特性曲线可以看出,在一定的反向电压范围内,反向电流变化不大,因为反向电流是少数载流子的漂移运动形成的;一定温度下,少子的数目基本不变,所以反向电流基本恒定,与反向电压的大小无关,故通常称其为反向饱和电流。

3. 反向击穿特性

当反向电压过高时,会使反向电流突然增大,这种现象称为反向击穿。

1.2.3 主要参数

半导体器件的质量指标和安全使用范围,常用其参数来表示。所以,参数是我们选择和使用器件的标准。二极管的主要参数有以下几个。

1. 最大整流电流 I_{OM}

I_{OM} 是二极管长期运行时,允许通过的最大正向平均电流。因电流通过 PN 结会引起二极管发热,所以电流过大会导致 PN 结发热过度而烧坏。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是为了防止二极管反向击穿而规定的最高反向工作电压。最高反向工作电压一般为反向击穿电压的 $1/2$ 或 $2/3$,二极管才能够安全使用。

3. 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是指当二极管加上最高反向工作电压时的反向电流值。其值愈小,说明二极管的单向导电性愈好。硅管的反向电流较小,一般在几微安以下。锗管的反向电流较大,是硅管的几十至几百倍。

1.2.4 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管,简称稳压管,是一种特殊的面接触型硅二极管,其电路



符号和伏安特性曲线如图 1-9 所示,稳压管的伏安特性曲线和普通二极管类似,只是反向特性曲线比较陡。

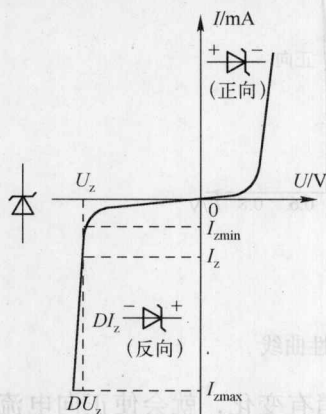


图 1-9 稳压管的电路符号和伏安特性曲线

反向击穿是稳压管的正常工作状态,稳压管就工作在反向击穿区。从反向特性曲线可以看到,当所加反向电压小于击穿电压时,和普通二极管一样其反向电流很小。一旦所加反向电压达到击穿电压时,反向电流会突然急剧上升,稳压管被反向击穿。其击穿后的特性曲线很陡,这就说明流过稳压管的反向电流在很大范围内(从几毫安到几十甚至上百毫安)变化时,管子两端的电压基本不变,稳压管在电路中能起稳压作用正是利用了这一特性。

稳压管的反向击穿是可逆的,这一点与一般二极管不一样。只要去掉反向电压,稳压管就会恢复正常。但是,如果反向击穿后的电流太大,超过其允许范围,就会使稳压管的 PN 结发生热击穿而损坏。

由于硅管的热稳定性比锗管好,所以稳压管一般都是硅管,故称硅稳压管。

稳压管的主要参数有如下几个。

(1) 稳定电压 U_z 和稳定电流 I_z

稳定电压就是稳压管在正常工作时管子两端的电压。同一型号的稳压管,由于制造方面的原因,其稳压值也有一定的分散性。如 2CW18,其稳定电压 $U_z = 10 \sim 12V$ 。

稳定电流常作为稳压管的最小稳定电流 $I_{z(\min)}$ 来看待。一般小功率稳压管可取 I_z 为 5mA。如果反向工作电流太小,则会使稳压管工作在反向特性曲线的弯曲部分而使稳压特性变坏。

(2) 最大稳定电流 $I_{z(\max)}$ 和最大允许耗散功率 P_{zM}

这两个参数都是为了保证管子安全工作而规定的。最大允许耗散功率 $P_{zM} = U_z I_{z(\max)}$,如果管子的电流超过最大稳定电流 $I_{z(\max)}$,则将会使管子的实际功率超过最大允许耗散功率,管子将会发生热击穿而损坏。

(3) 电压温度系数 α_v

它是说明稳定电压 U_z 受温度变化影响的系数。例如,2CW18 稳压管的电压温度系数为 $0.095\%/^{\circ}C$,就是说温度每增加 $1^{\circ}C$,其稳压值将升高 0.095% 。一般稳压值低于 6V 的稳压管具有负的温度系数;高于 6V 的稳压管具有正的温度系数。稳压值为 6V 左右的管子其稳压值基本上不受温度的影响,因此,选用 6V 左右的管子,可以得到较好的温度稳定性。

(4) 动态电阻 r_z

动态电阻是指稳压管两端电压的变化量 ΔU_z 与相应的电流变化量 ΔI_z 的比值,即



$$r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$$

稳压管的反向特性曲线越陡，动态电阻越小，稳压性能就越好。 r_z 的数值约在几欧至几十欧之间。

2. 发光二极管

发光二极管通常用元素周期表中Ⅲ、V族元素的化合物，如砷化镓、磷化镓等材料制成。发光二极管也具有单向导电性。发光二极管的发光颜色取决于所用材料，目前有红、绿、黄、橙等，管子外形可以制成长方形、圆形等。其符号如图1-10所示。

发光二极管因驱动电压低、功耗小、寿命长、可靠性高等优点而广泛用于显示电路中。它的另一种重要用途是将电信号变为光信号，通过光电电缆传输，再用光电二极管接收，还原成电信号。

3. 光电二极管

光电二极管的结构与普通二极管类似，使用时光电二极管PN结工作在反向偏置状态，在光的照射下，反向电流随光照强度的增加而上升（这时的反相电流叫做光电流），所以，光电二极管是一种将光信号转为电信号的半导体器件，其符号如图1-11所示。另外，光电流还与入射光的波长有关。

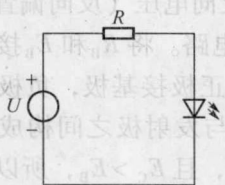


图1-10 发光二极管



图1-11 光电二极管电路符号

在无光照射时，光电二极管的伏安特性和普通二极管一样，此时的反向电流叫暗电流，一般在几微安，甚至更小。

1.3 晶体三极管与交流放大电路

晶体三极管简称晶体管，是组成放大电路的核心元件。本节介绍晶体管的基本结构、电流放大作用、输入/输出特性曲线和主要参数。

1.3.1 基本结构

目前使用的晶体管有PNP型和NPN型两种，分别如图1-12(a)、(b)所示。当前国内生产的锗管多为PNP型(3A系列)，硅管多为NPN型(3D系列)。

不论PNP型还是NPN型，在结构上都有三个区(发射区、基区和集电区)、两个PN结(发射结和集电结)。由三个区分别引出的三根电极分别称为发射极E、基极B和集电极C。

为了使晶体管具有电流放大作用，在其内部结构上还必须满足两个条