



卓越工程师培养计划

“十二五”高等学校规划教材

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



戚新波 主编
姚娟 毛景魁 马临超 副主编



电工技术基础

与工程应用

· 电子技术(第2版)



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



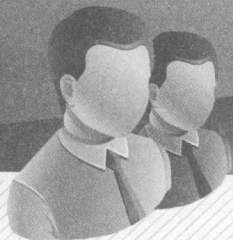
卓越工程师培养计划

“十二五”高等学校规划教材

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



戚新波 主编
姚娟 毛景魁 马临超 副主编



电工技术基础 与工程应用 · 电子技术(第2版)

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和场效应管、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/戚新波主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2013.6

(卓越工程师培养计划)

ISBN 978-7-121-20578-1

I. ①电… II. ①戚… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第116491号

责任编辑:张 剑(zhang@phei.com.cn)

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

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:346千字

印 次:2013年6月第1次印刷

印 数:4000册 定价:33.00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zts@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。

本书由戚新波任主编，姚娟、毛景魁、马临超任副主编。河南机电高等专科学校毛景魁编写第1章和第2章，河南机电高等专科学校郭静编写第3章和第4章，河南机电高等专科学校马临超编写第5章、第6章和第8章，河南机电高等专科学校戚新波编写第7章，河南机电高等专科学校姚娟编写第9章、第10章和附录A。全书由戚新波教授统稿。

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。

编 者

《电工技术基础与工程应用·电子技术(第2版)》

读者调查表

尊敬的读者:

欢迎您参加读者调查活动,对我们的图书提出真诚的意见,您的建议将是我们创造精品的动力源泉。为方便大家,我们提供了两种填写调查表的方式:

1. 您可以登录 <http://yydz.phei.com.cn>, 进入“读者调查表”栏目, 下载并填好本调查表后反馈给我们。
2. 您可以填写下表后寄给我们(北京市海淀区万寿路173信箱电子技术分社 邮编:100036)。

姓名: _____ 性别: 男 女 年龄: _____ 职业: _____
电话: _____ 移动电话: _____
传真: _____ E-mail: _____
邮编: _____ 通信地址: _____

1. 影响您购买本书的因素(可多选):

- 封面、封底 价格 内容简介 前言和目录 正文内容
出版物名声 作者名声 书评广告 其他 _____

2. 您对本书的满意度:

- 从技术角度 很满意 比较满意 一般 较不满意 不满意
从文字角度 很满意 比较满意 一般 较不满意 不满意
从版式角度 很满意 比较满意 一般 较不满意 不满意
从封面角度 很满意 比较满意 一般 较不满意 不满意

3. 您最喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

4. 您最不喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

5. 您希望本书在哪些方面进行改进?

6. 您感兴趣或希望增加的图书选题有:

邮寄地址: 北京市海淀区万寿路173信箱电子信息出版分社 张剑 收
邮 编: 100036 电 话: (010)88254450 E-mail: zhang@phei.com.cn

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

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	8
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	37
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	45
*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	54
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
3.2 正弦波振荡电路	79
3.2.1 自激振荡	79

3.2.2	自激振荡及 条件	80	5.1.5	晶闸管的型号	133
3.2.3	起振和稳幅	81	5.2	派生器件	133
3.2.4	正弦波振荡电路的 基本组成	82	5.2.1	门极关断晶闸管 (GTO)	134
3.2.5	正弦波振荡 分析	82	5.2.2	双向晶闸管 (TRIAC)	134
3.2.6	RC 正弦波振荡 电路	82	5.2.3	逆导型晶闸管 (RCT)	135
3.2.7	LC 振荡电路	86	5.2.4	快速晶闸管 (FST)	135
3.3	直流稳压电源	92	5.2.5	光控晶闸管 (LTT)	136
3.3.1	单相整流电路	93	5.3	新型电力电子器件	136
3.3.2	滤波电路	96	5.3.1	电力晶体管	136
3.3.3	稳压电路	98	5.3.2	电力场效应 晶体管	137
小结	.....	102	5.3.3	绝缘栅双极型 晶体管	138
习题	.....	103	5.3.4	其他新型电力 电子器件	139
第 4 章 EDA 技能训练—— Multisim 7 操作			5.4	电力电子器件的保护	140
	入门	107	小结	.....	143
4.1	Multisim 发展简介	107	习题	.....	143
4.2	Multisim 7 基本操作	108	第 6 章 电力电子电路		
4.3	Multisim 7 电路创建	110	6.1	相控整流电路	145
4.4	Multisim 7 操作界面	112	6.1.1	单相半波相控 整流电路	145
4.5	Multisim 7 仪器仪表 使用	114	6.1.2	单相桥式相控 整流电路	147
4.6	Multisim 7 电路创建 方法	121	6.1.3	三相相控整流 电路	148
4.7	Multisim 7 电路创建 实例	126	6.2	逆变电路	149
第 5 章 电力电子器件			6.2.1	有源逆变	149
5.1	晶闸管	128	6.2.2	无源逆变及 变频器	152
5.1.1	电力电子器件的 分类	128	6.3	交流调压电路	154
5.1.2	晶闸管的基本结构与 工作原理	129	6.4	直流斩波电路	155
5.1.3	晶闸管的伏安 特性	130	6.4.1	降压变换电路	156
5.1.4	晶闸管的主要 特性参数	131	6.4.2	升压式直流 斩波电路	157

6.4.3 升降压式直流 斩波电路·····	158	8.2.4 D 触发器·····	183
小结·····	158	8.2.5 T 触发器·····	183
习题·····	159	8.2.6 各触发器之间的 转换·····	184
第7章 数字电路基础		8.3 时序逻辑电路的分析···	184
知识 ·····	161	小结·····	187
7.1 数制与码制·····	161	习题·····	188
7.1.1 数制·····	161	第9章 常用数字集成	
7.1.2 码制·····	163	芯片 ·····	189
7.2 逻辑门概念·····	163	9.1 编码器与译码器·····	189
7.2.1 基本逻辑 运算·····	163	9.1.1 编码器·····	189
7.2.2 集成门电路·····	165	9.1.2 译码器·····	191
7.3 逻辑代数及化简·····	168	9.2 数据选择器和分配器···	192
7.3.1 逻辑代数的基本 定律和基本 规则·····	168	9.3 加法器与数值比较器···	194
7.3.2 逻辑代数的化简 和证明·····	170	9.3.1 加法器·····	194
小结·····	171	9.3.2 数值比较器·····	196
习题·····	172	9.4 计数器与寄存器·····	199
第8章 逻辑电路的分析与		9.4.1 计数器·····	199
设计 ·····	174	9.4.2 寄存器·····	204
8.1 组合逻辑电路的分析与 设计·····	174	9.5 555 定时器·····	207
8.1.1 组合逻辑电路的 分析·····	174	9.6 模拟量和数字量的 转换·····	208
8.1.2 组合逻辑电路的 设计·····	175	9.6.1 数-模转换器···	209
8.2 触发器电路·····	178	9.6.2 模-数转换器···	215
8.2.1 触发器的分类及 特点·····	179	小结·····	219
8.2.2 R-S 触发器···	179	习题·····	219
8.2.3 J-K 触发器···	182	第10章 数字电路工程	
		应用 ·····	221
		10.1 组合逻辑电路的 实现·····	221
		10.2 555 定时器应用·····	223
		附录 A 课程设计手册 ·····	226



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。半导体器件因其具有体积小、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、晶体管及场效应晶体管的基本结构、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 3 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 3 个特点。

【对温度反应灵敏 (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约 0.4%, 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, 电阻率降低约 50%。

【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, 如果将极微量的杂质掺在半导体中, 会引起其电阻率的极大变化。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 $2.3 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 急剧减少到约 $0.4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

【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器件。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 4 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 4 个价电子既受自身原子核的束缚, 又为相邻的 4 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



单晶硅的共价键结构。

在共价键结构中,每个原子的最外层虽然具有8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,也即空穴会产生定向移动,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。

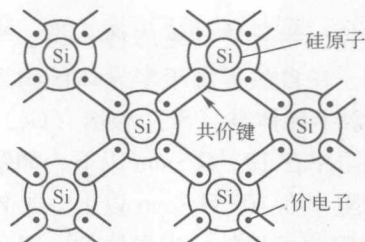


图1-1 单晶硅的共价键结构

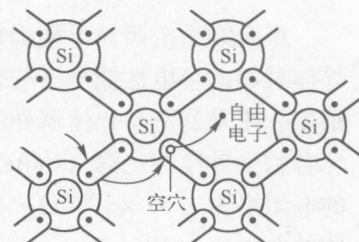


图1-2 电子—空穴对的形成

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4个价电子,而磷原子的最外层有5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5价元素的原子,就能提供一个自由电子。

【注意】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5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。以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。

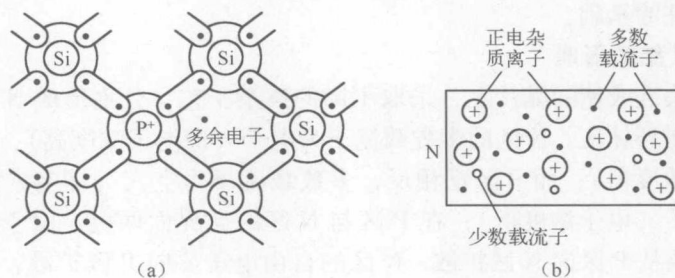


图1-3 单晶硅中掺5价元素形成N型半导体

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3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。

【注意】 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。

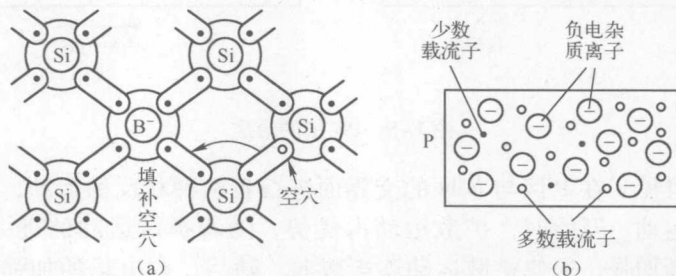


图1-4 单晶硅中掺三价元素形成P型半导体





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P区向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。

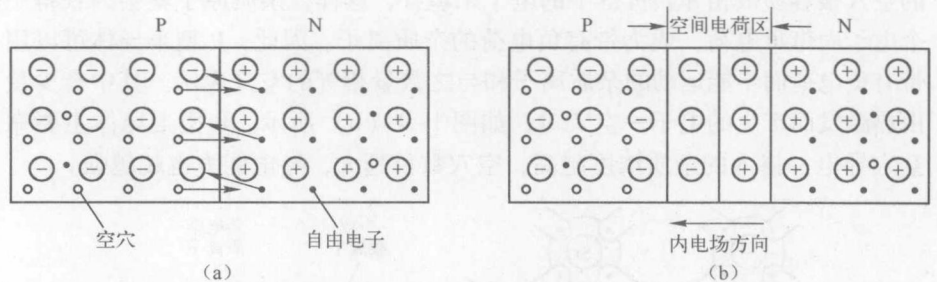


图1-5 PN结的形成

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 结呈低阻状态而处于正向导通。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 区的少数电子和 N 区的少数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。

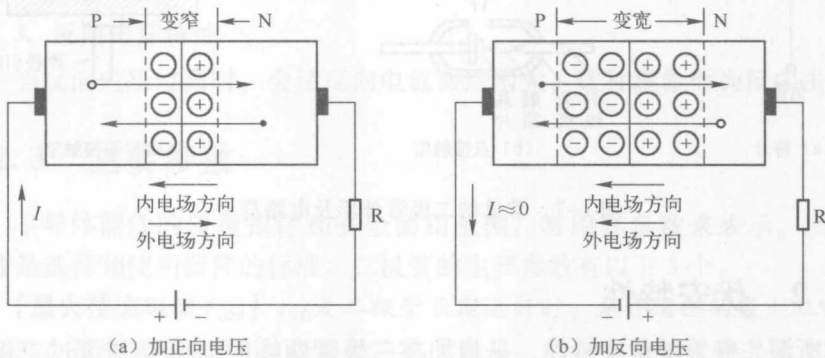


图 1-6 PN 结加正向电压与加反向电压

由此可见，PN 结的正向电阻较小，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 $T = 300\text{K}$ 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。

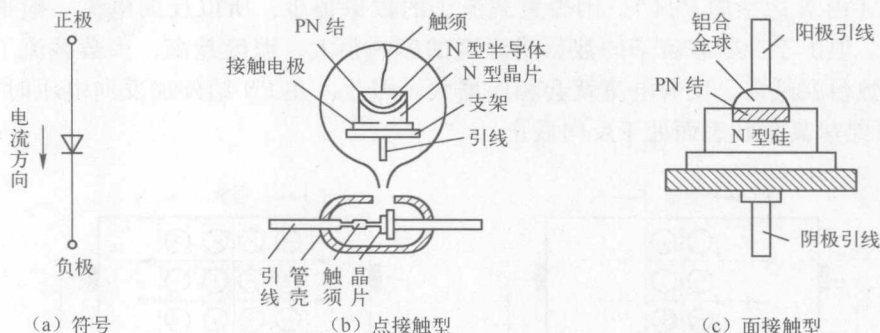


图 1-7 常见的二极管外形及电路符号

1.2.2 伏安特性

所谓二极管的伏安特性,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阈值电压(又称为门槛电压),一般硅管的阈值电压约为 0.5V,锗管的阈值电压约为 0.2V。

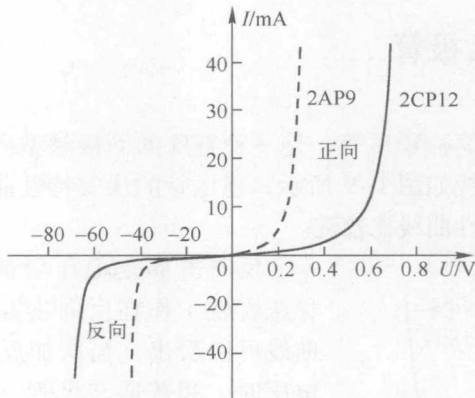


图 1-8 二极管的伏安特性曲线

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 。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

从图 1-8 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,在一定温度下,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,参数是选择和使用器件的标准。二极管的主要参数有以下 3 个。

【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。

【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 $2/3$, 这样才能够安全使用二极管。

【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。其值越小,说明二极管的单向导电性越好。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。

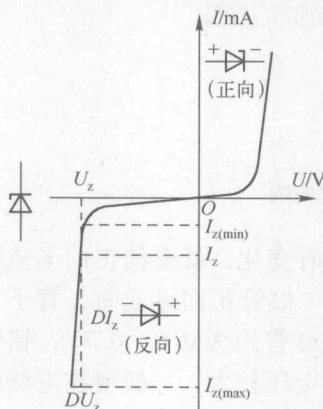


图1-9 稳压管的电路符号和伏安特性曲线

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出,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,反向电流会突然剧增,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(从数毫安到数百毫安)变化时,稳压管两端的电压基本不变,稳压管在电路中能起到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,这一点与普通二极管不一样。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。

稳压管的主要参数如下所述。

【**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其两端的电压。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 $I_z = 5mA$ 。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差。

【**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稳压管安全工作而规定的。最大允许耗散功率 $P_{zM} = U_z I_{z(\max)}$,如果稳压管的电流超过最大稳定电流 $I_{z(\max)}$,则将会使稳压管的实际功率超过最大允许耗散功率,稳压管将会发生热击穿而损坏。

【**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。稳压值约为 $6V$ 的稳压管其稳压值基本上不受温度的影响,因此,选用约 $6V$ 的稳压管,可以得到较好的温度稳定性。

【**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