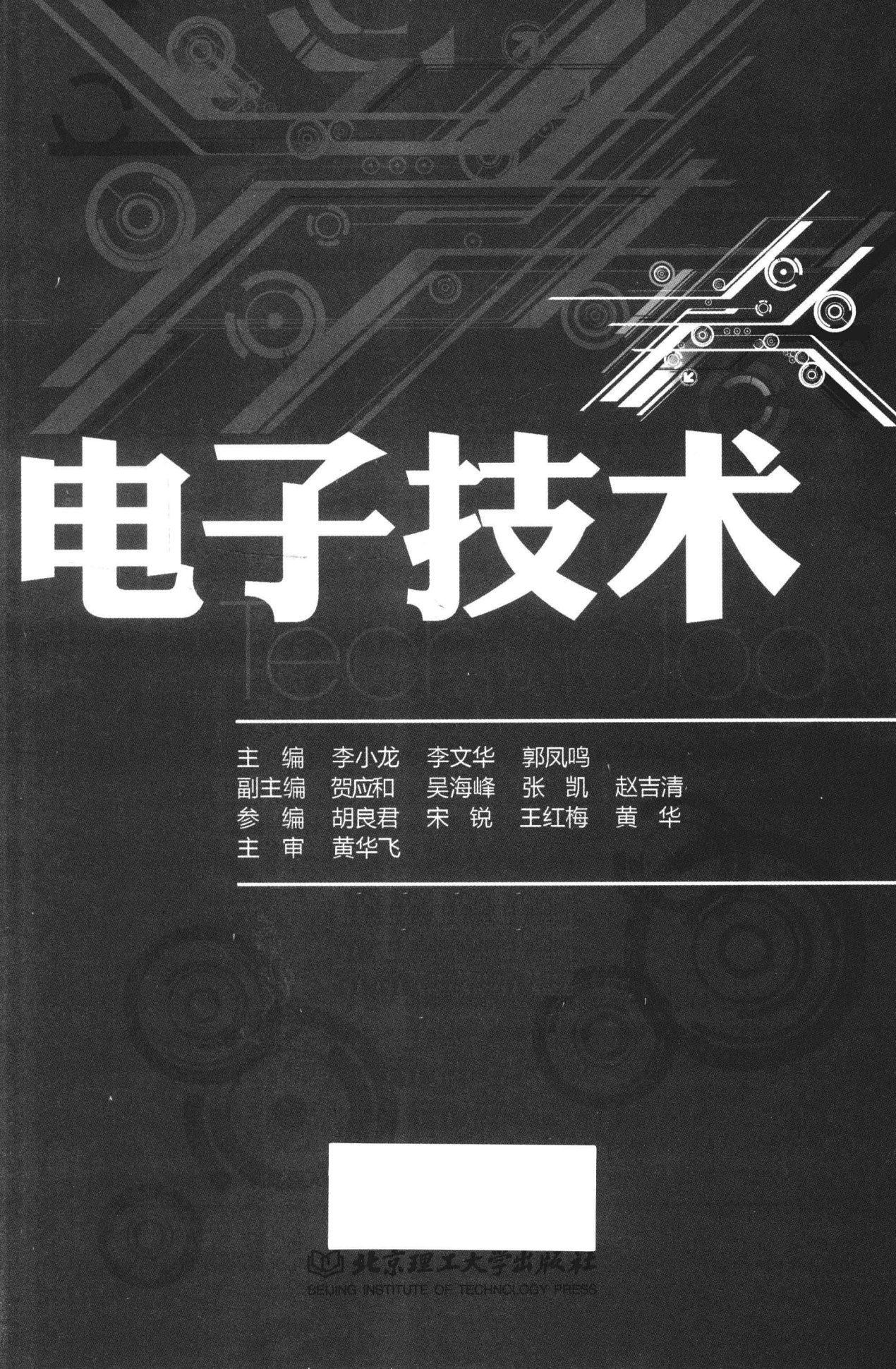




电子技术

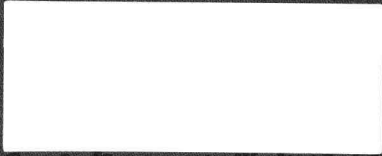
李小龙 李文华 郭凤鸣 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



电子技术

主 编	李小龙	李文华	郭凤鸣	
副主编	贺应和	吴海峰	张 凯	赵吉清
参 编	胡良君	宋 锐	王红梅	黄 华
主 审	黄华飞			



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术/李小龙, 李文华, 郭凤鸣主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6615 - 4

I. ①电… II. ①李… ②李… ③郭… III. ①电子技术-高等学校-教材-汉、英
IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 192630 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 349 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 46.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

本书是根据教育部制定的高等教育培养目标和规定的有关文件精神及电子技术课程教学的基本要求,并结合现代电子技术系列课程的建设实际编写。编写时既考虑到要使学生获得必要的电子技术基础理论、基本知识和基本技能,也充分考虑到学生的实际情况,在编写过程中认真贯彻理论以够用为度,加强应用,提高分析和解决实际问题的能力的原则。

本书的编写思路是:

1. 注重理论与工程实践相结合,重在会用。各章列举大量应用实例,以加深学生对各个单元电路功能的理解。
2. 以集成电路为主,分立元件为辅。各章相应介绍常用的最新集成电路和新的常用电子器件,重在电路的认知和应用能力的培养。
3. 讲授内容与习题融为一体。每章习题中设置思考题和计算题,以帮助学生总结内容,拓宽思路,提高分析问题和解决问题的能力。
4. 强调课程体系的针对性,根据培养规格,理论上为后续课程打基础,够用为度,着力于应用能力的培养。

全书共 11 章,内容包括:半导体器件、数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、基本放大电路、负反馈电路、集成运算放大器、正弦波振荡器、脉冲波形的产生和整形、模拟量和数字量的转换、电力电子技术等。

本书由李小龙、李文华和郭凤鸣担任主编,贺应和、吴海峰、张凯、赵吉清担任副主编,黄华飞担任主审,具体分工如下:李小龙确定总体方案,李文华制定编写大纲,郭凤鸣负责统稿,黄华飞负责定稿工作,叶倩参与了初稿的全部审阅工作。各章编写分工如下:第 1 章由吴海峰编写,第 2、7 章由李文华和胡良君编写,第 3、4 章由张凯和宋锐编写,第 5 章由郭凤鸣和贺应和编写,第 6、8 章由赵吉清编写,第 9 章由李小龙和王红梅编写,第 10、11 章由黄华编写。

本书简明扼要,但却涵盖了非电类专业对电子技术课程要求的全部内

前 言

容。因此它既可作为高等院校的教材，也可作为从事相关专业的工程技术人员
的参考用书。

限于作者的水平以及时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者
批评指正，作者不胜感激。

编 者

第1章 常用半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	2
1.1.3 PN 结及其单向导电性	3
1.2 二极管	4
1.2.1 二极管的简介	4
1.2.2 二极管的电压-电流关系	5
1.2.3 二极管的主要参数	6
1.2.4 二极管的应用	6
1.3 特殊二极管	7
1.3.1 稳压管	7
1.3.2 发光二极管	9
1.3.3 光电二极管	9
1.4 晶体管	10
1.4.1 晶体管的结构	10
1.4.2 晶体管的放大作用	10
1.4.3 晶体管的特性曲线及工作状态	12
1.4.4 晶体管的主要参数	13
1.5 场效应管	14
1.5.1 绝缘栅型场效应管	15
1.5.2 场效应管的主要参数	17
1.5.3 场效应管的使用注意事项	17
1.5.4 场效应管与晶体管的性能比较	19
本章小结	19
习题	20
第2章 数字电路基础	22
2.1 数字电路概述	22

目 录

2.1.1 数字电路的主要特点	22
2.1.2 脉冲信号波形及其参数	22
2.1.3 十进制数与二进制数	23
2.2 基本逻辑门电路	25
2.2.1 三种最基本的逻辑关系	26
2.2.2 三种逻辑门电路	27
2.3 逻辑运算法则	29
2.3.1 逻辑代数的基本运算法则和定律	29
2.3.2 逻辑函数的化简	31
2.4 集成与非门电路	34
2.4.1 TTL 与非门	35
2.4.2 CMOS 与非门电路	36
2.4.3 TTL 三态输出与非门电路	38
本章小结	39
习题	40
第3章 组合逻辑电路分析与设计	42
3.1 组合逻辑电路的分析	42
3.2 组合逻辑电路的设计	44
3.3 常用的组合逻辑电路	46
3.3.1 加法器电路分析	46
3.3.2 二进制编码器	48
3.3.3 二进制译码器	51
3.3.4 数字比较器	58
3.3.5 数据选择器	60
3.4 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	63
3.4.1 竞争-冒险现象简介	63
3.4.2 竞争-冒险现象的判断	63
3.4.3 冒险现象的消除	65
本章小结	66
习题	67
第4章 时序逻辑电路	70
4.1 概述	70
4.2 基本 RS 触发器	70
4.3 同步 RS 触发器	72

4.4 主从 RS 触发器	74
4.5 JK 触发器	75
4.6 D 触发器	76
4.7 T 触发器	77
4.8 T' 触发器	78
4.9 触发器之间的相互转换	78
4.10 计数器	80
4.10.1 二进制计数器	81
4.10.2 非二进制计数器	84
4.10.3 集成计数器的应用	89
4.11 寄存器	94
本章小结	99
习题	100
第5章 基本放大电路	103
5.1 共射级放大电路	103
5.1.1 放大电路的组成	103
5.1.2 放大电路的工作原理	104
5.1.3 放大电路的静态分析	104
5.2 放大电路的微变等效电路分析法	106
5.2.1 放大电路的主要性能指标	106
5.2.2 微变等效电路法	108
5.3 静态工作点的稳定	110
5.3.1 放大电路稳定静态工作点原理	110
5.3.2 分压式偏置放大电路的分析	111
5.4 射极输出器	113
5.4.1 电路组成和静态工作点	113
5.4.2 性能指标分析	114
5.4.3 射极输出器的应用	115
5.5 多级放大电路	116
5.5.1 多级放大电路的组成	116
5.5.2 阻容耦合放大电路的分析	116
5.6 差动放大电路	118
5.6.1 直接耦合放大电路的零点漂移	118
5.6.2 基本差动放大电路	119
5.6.3 长尾式差动放大器	122

5.7 功率放大电路	123
5.7.1 功率放大电路的特点	123
5.7.2 互补对称功率放大电路	124
5.7.3 集成功率放大电路	126
本章小结	127
习题	127
第6章 放大电路中的负反馈应用	133
6.1 反馈的基本概念	133
6.1.1 反馈的定义	133
6.1.2 反馈放大器的组成	133
6.2 负反馈放大电路的分类与判断	134
6.2.1 反馈信号的分类与判断	134
6.2.2 反馈的四种组态	135
6.2.3 反馈组态的判断	137
6.3 负反馈对放大器性能的影响	138
6.3.1 提高放大倍数的稳定性	138
6.3.2 减小非线性失真和抑制干扰	138
6.3.3 展宽频带	138
6.3.4 改变输入电阻和输出电阻	139
本章小结	139
习题	140
第7章 集成运算放大器的应用	143
7.1 概述	143
7.2 运算放大器的线性应用	144
7.2.1 理想运算放大器	144
7.2.2 比例运算电路	145
7.2.3 加法运算电路	147
7.2.4 减法运算电路	148
7.2.5 积分运算电路	149
7.2.6 微分运算电路	149
7.2.7 电流、电压转换电路	150
7.3 运算放大器的非线性应用	152
7.3.1 比较器	153
7.3.2 方波发生器	155
7.4 集成运放的使用常识	156

7.4.1 元件的选用	156
7.4.2 使用时的注意事项	157
7.4.3 运算放大器的保护	157
本章小结	159
习题	159
第8章 正弦波振荡器	162
8.1 正弦波振荡电路概述	162
8.1.1 利用正反馈产生振荡	162
8.1.2 振荡电路的自激条件	163
8.1.3 正弦波振荡电路的组成	163
8.1.4 正弦波振荡电路的分类	164
8.2 RC 正弦波振荡器	164
8.2.1 串并联网络振荡电路	164
8.2.2 其他形式的 RC 振荡电路	167
8.3 LC 正弦波振荡电路	167
8.3.1 LC 并联谐振电路的频率特性	168
8.3.2 变压器反馈式正弦波振荡电路	169
8.3.3 电感三点式正弦波振荡电路	170
8.3.4 电容三点式正弦波振荡器	171
8.4 石英晶体振荡器	172
8.4.1 石英晶体特性	172
8.4.2 石英晶体振荡器	174
本章小结	175
习题	175
第9章 脉冲波形的产生与整形电路	179
9.1 概述	179
9.2 多谐振荡器	179
9.2.1 门电路构成的多谐振荡器	179
9.2.2 采用石英晶体的多谐振荡器	181
9.3 单稳态触发器	183
9.3.1 门电路构成的单稳态触发器	183
9.3.2 集成单稳态触发器	185
9.3.3 单稳态触发器的应用	186
9.4 施密特触发器	188
9.4.1 概述	188

目 录

9.4.2 施密特触发器的应用	188
9.5 555 定时器及其应用	190
9.5.1 电路组成及工作原理	191
9.5.2 555 定时器构成施密特触发器	192
9.5.3 555 定时器构成单稳态触发器	193
9.5.4 555 定时器构成多谐振荡器	194
本章小结	195
习题	196
第10章 模拟量和数字量的转换	199
10.1 A/D 转换器	199
10.1.1 逐次逼近型 A/D 转换器	202
10.1.2 主要技术指标	204
10.2 D/A 转换器	204
10.2.1 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	205
10.2.2 主要技术指标	206
本章小结	207
习题	207
第11章 电力电子技术	208
11.1 稳压电源	208
11.1.1 整流电路	208
11.1.2 滤波电路	211
11.1.3 稳压电路	213
11.2 晶闸管及其应用	214
11.2.1 晶闸管及其特性	214
11.2.2 单相可控整流电路	216
11.2.3 单结晶体管触发电路	218
11.3 交流调压电路	220
本章小结	220
习题	221
附录	222

第 1 章 ...

常用半导体器件

本章主要介绍半导体二极管、特殊二极管、半导体三极管、场效应管。它们的基本结构、工作原理、特性和参数是学习电子技术和分析电子电路必不可少的基础。

1.1 半导体基础知识

自然界中的物质，按其导电能力可分为三大类：导体、半导体和绝缘体。半导体的导电性介于导体与绝缘体之间。导体——主要材料为铁、铝、铜等金属元素，其最外层电子在外电场作用下很容易产生定向移动，形成电流。绝缘体——如惰性气体、橡胶等，其原子的最外层电子受原子核的束缚力很强，只有在外电场强到一定程度时才可能导电。半导体——主要材料为硅（Si）、锗（Ge），均为四价元素，它们原子的最外层电子受原子核的束缚力介于导体与绝缘体之间。同时半导体还具有一些特性如：热敏性——温度升高，导电能力增强；光敏性——光照强，导电能力增强；掺杂性——加入适当杂质，导电能力显著增强。目前半导体在很多科学领域有极为广泛和深入的应用，同时在人们的生产和生活中也发挥着巨大的作用。

1.1.1 本征半导体

纯净晶体结构的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料是硅和锗，它们都是四价元素，在原子结构中最外层轨道上有四个价电子。把硅或锗材料拉制成单晶体时，相邻两个原子的一对最外层电子（价电子）成为共有电子，它们一方面围绕自身的原子核运动，另一方面又出现在相邻原子所属的轨道上。即价电子不仅受到自身原子核的作用，同时还受到相邻原子核的吸引。于是，两个相邻的原子共有一对价电子，组成共价键结构。故晶体中，每个原子都和周围的 4 个原子用共价键的形式相互紧密地联系起来，如图 1-1 所示。

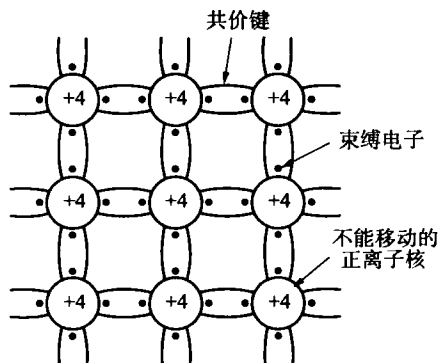


图 1-1 硅和锗的共价键结构

但是共价键中的电子还不像在绝缘体中的价电子被束缚得那样紧，在获得一定能量（温度升高或受光照）后，即可挣脱原子核的束缚（电子受到激发），成为自由电子。温度越高，半导体材料中产生的自由电子便越多。束缚电子脱离共价键成为自由电子后，在原来的位置留有一个空位，称此空位为空穴。

本征半导体中，自由电子和空穴成对出现，数目相同。图 1-2 所示为本征激发所产生的电子空穴对。这样半导体中就存在两种载流子，一种是带负电的自由电子，另一种是

带正电的空穴，它们都可以运载电荷形成电流。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中加入微量杂质，可使其导电性能显著改变。根据掺入杂质的性质不同，杂质半导体分为两类：电子型（N型）半导体和空穴型（P型）半导体。

1. N型半导体

在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的五价元素，如磷（P）、砷（As）等，则构成N型半导体。五价的元素具有五个价电子，它们进入由硅（或锗）组成的半导体晶体中，五价的原子取代四价的硅（或锗）原子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，因为多一个价电子不受共价键的束缚，很容易成为自由电子，于是半导体中自由电子的数目大量增加。自由电子参与导电移动后，在原来的位置留下一个不能移动的正离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的空穴产生，如图1-3所示。这时N型半导体中自由电子为多数载流子，空穴为少数载流子。

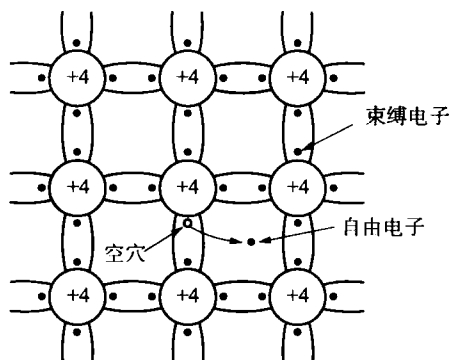


图1-2 本征激发产生电子空穴对

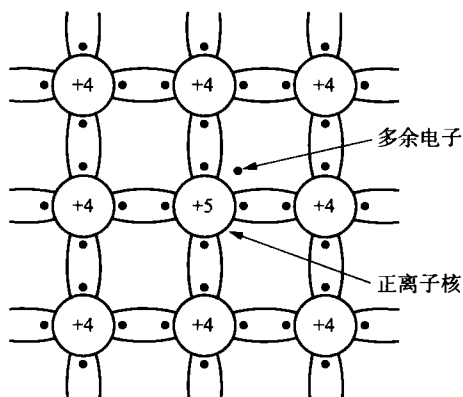


图1-3 N型半导体的共价键结构

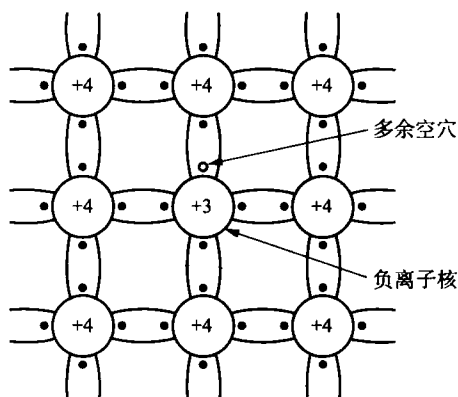


图1-4 P型半导体共价键结构

2. P型半导体

在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的三价元素，如硼（B）、镓（Ga）等，则构成P型半导体。三价的元素只有三个价电子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，由于缺少一个价电子，在晶体中便产生一个空位，邻近的束缚电子如果获取足够的能量，有可能填补这个空位，使原子成为一个不能移动的负离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的自由电子产生，如图1-4所示。这时P型半导体中空穴为多数载流子，自由电子为少数载流子。

应注意，不论是N型半导体还是P型半导体，虽然它们都有一种载流子占多数，但是整体仍然是不带电的。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

P 型或 N 型半导体的导电能力虽然大大增强,但不能直接用来制造半导体器件。于是采用不同的掺杂工艺,将 P 型半导体与 N 型半导体制作在同一块硅片上,在它们的交界面上就形成 PN 结。

1. PN 结的形成

物质总是从浓度高的地方向浓度低的地方运动,这种由于浓度差而产生的运动称为扩散运动。气体、液体、固体均有扩散运动。当把 P 型半导体和 N 型半导体制作在一起时,在它们的交界面,两种载流子的浓度差很大,因而 P 区的空穴必然向 N 区扩散,与此同时, N 区的自由电子也必然向 P 区扩散。如图 1-5 所示为多数载流子的扩散。由于扩散到 P 区的自由电子与空穴复合,而扩散到 N 区的空穴与自由电子复合,所以在交界面附近多子的浓度下降, P 区出现负离子区, N 区出现正离子区,它们是不能移动的,称为空间电荷区,从而形成电场。随着扩散运动的形式,空间电荷区加宽,内电场增强,其方向由 N 区指向 P 区,正好阻止扩散运动的进行。

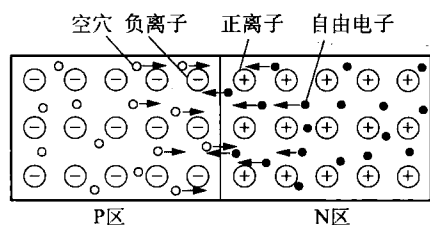


图 1-5 多数载流子的扩散

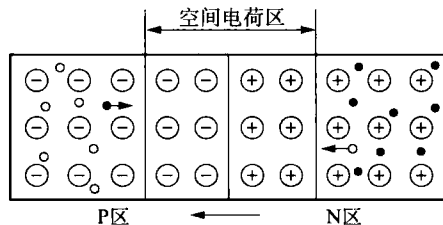


图 1-6 空间电荷区

当空间电荷区形成以后,在内电场作用下,少子产生漂移运动,空穴从 N 区向 P 区运动,而自由电子从 P 区向 N 区运动。在无外电场和其他激发作用下,参与扩散运动的多子数目等于参与漂移运动的少子数目,从而达到动态平衡,形成 PN 结。它是一个空间电荷区,是一层非常薄的膜,约为几微米至几十微米,如图 1-6 所示。

2. PN 结的单向导电性

上面讨论的是 PN 结在没有外加电压时的情况,这时半导体中的扩散和漂移处于动态平衡。下面讨论在 PN 结上加外部电压的情况。

(1) PN 结正向偏置

给 PN 结加正向偏置电压,将电源的正极接 P 区,负极接 N 区,则称此为正向接法或正向偏置。此时外加电压在耗尽层内形成的电场与内电场方向相反,削弱了内电场,使耗尽层变窄,如图 1-7 所示。显然,扩散作用大于漂移作用,在电源作用下,多数载流子向对方区域扩散形成正向电流,其方向由电源正极通过 P 区、N 区到达电源负极。在一定范围内,外电场愈强,正向电流愈大,PN 结呈现的电阻愈低。此时 PN 结处于正向导通状态。

(2) PN 结反向偏置

给 PN 结加反向偏置电压,将电源的正极接 N 区,负极接 P 区,则称此为反向接法或反向偏置。此时外加电压在耗尽层内形成的电场与内电场方向相同,增强了内电场,使耗尽层变宽,如图 1-8 所示。此时漂移作用大于扩散作用,少数载流子在电场作用下作漂

移运动，由于其电流方向与正向电压时相反，故称为反向电流。由于反向电流是由少数载流子所形成的，故反向电流很小。此时 PN 结呈现很大的电阻，称为反向截止状态。

由以上分析可知，PN 结具有单向导电性。即在 PN 结上加正向电压时，PN 结电阻很低，正向电流较大，PN 结处于导通状态；加反向电压时，PN 结电阻很高，反向电流很小，PN 结处于截止状态。

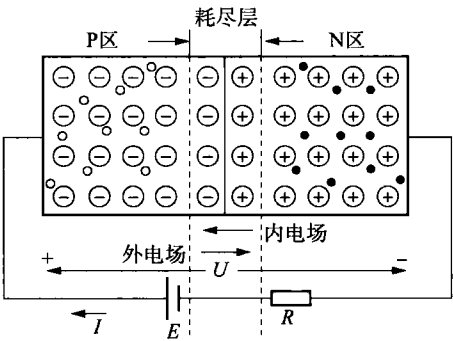


图 1-7 PN 结加正向电压

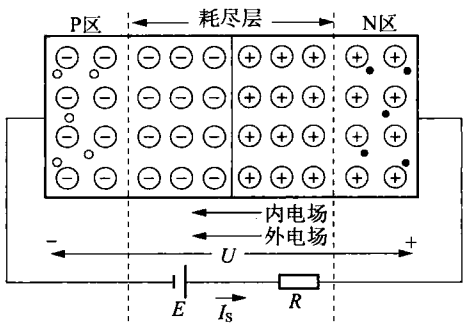


图 1-8 PN 结加反向电压

1.2 二极管

1.2.1 二极管的简介

将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就成为了半导体二极管。二极管按半导体材料的不同可以分为硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等；按结构可分为点接触型、面接触型和平面型二极管三类，如图 1-9 所示。

点接触型二极管（一般为锗管）如图 1-9（a）所示，它的 PN 结结面积小（结电容小），故允许通过的电流小，但其高频性能好，一般适用于高频和小功率的工作，也用作数字电路中的开关元件。面接触型二极管（一般为硅管）如图 1-9（b）所示，它的 PN 结结面积大（结电容大），故可通过较大电流，但其工作频率较低，一般用作整流。平面型二极管（一般为硅管）如图 1-9（c）所示，它的 PN 结结面积可大可小，结面积大的用于高频整流，结面积小的适用于脉冲数字电路作开关管。

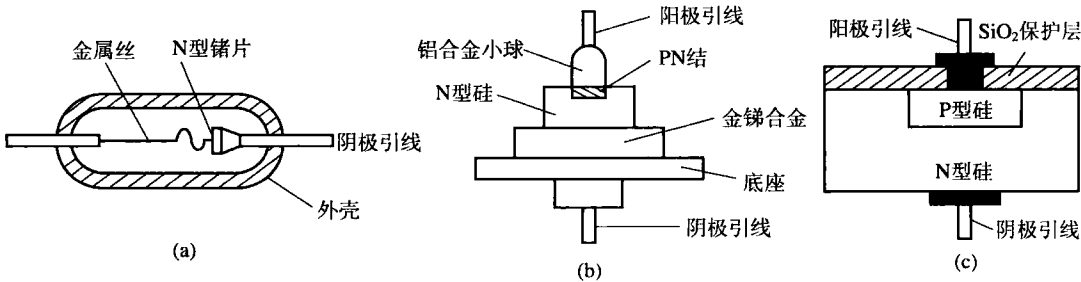


图 1-9 二极管

(a) 点接触型；(b) 面接触型；(c) 平面型

半导体二极管的符号如图 1-10 所示。



图 1-10 半导体二极管符号

1.2.2 二极管的电压-电流关系

二极管的电流与电压的关系曲线 $I=f(U)$ ，称为二极管的伏安特性，其伏安特性曲线如图 1-11 所示。二极管的核心是一个 PN 结，具有单向导电性，其实际伏安特性与理论伏安特性略有区别。由图 1-11 可见二极管的伏安特性曲线是非线性的，可分为三部分：正向特性、反向特性和反向击穿特性。

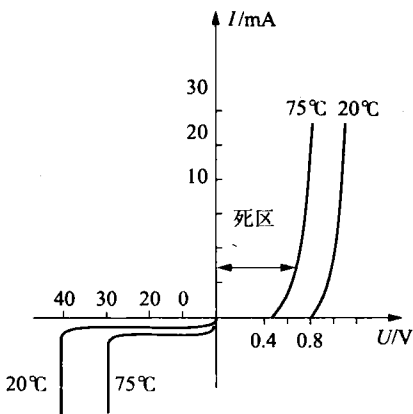


图 1-11 二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

当外加正向电压很低时，管内多数载流子的扩散运动没形成，故正向电流几乎为零。当正向电压超过一定数值时，才有明显的正向电流，这个电压值称为死区电压，通常硅管的死区电压约为 0.5V，锗管的死区电压约为 0.2V。当正向电压大于死区电压后，正向电流迅速增长，伏安特性曲线接近上升直线，在伏安特性曲线的这一部分，当电流迅速增加时，二极管的正向压降变化很小，硅管正向压降约为 0.6~0.7V，锗管的正向压降约为 0.2~0.3V。二极管的伏安特性对温度很敏感，温度升高时，正向特性曲线向左移，如图 1-11 所示。这说明，对应同样大小的正向电流，正向压降随温度升高而减小。研究表明，温度每升高 1℃，正向压降减小 2mV。

2. 反向特性

二极管加上反向电压时，形成很小的反向电流，且在一定温度下它的大小基本维持不变，因此，当反向电压在一定范围内增大时，反向电流的大小基本恒定，而与反向电压大小无关，故称为反向饱和电流。一般小功率锗管的反向电流可达几十 μA ，而小功率硅管的反向电流要小得多，一般在 0.1 μA 以下，当温度升高时，少数载流子数目增加，使反向电流增大，特性曲线下移，研究表明，温度每升高 10℃，反向电流近似增大一倍。

3. 反向击穿特性

当二极管的外加反向电压大于一定数值（反向击穿电压）时，反向电流突然急剧增加，称为二极管反向击穿。反向击穿电压一般在几十伏以上。

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外，二极管的参数同样能反映出它的电性能。器件的参数是正确选择和使用器件的依据。各种器件的参数由厂家产品手册给出，由于制造工艺方面的原因，即使同一型号的管子，参数也存在一定的分散性，因此手册常给出某个参数的范围，半导体二极管的主要参数有以下几个：

1. 最大整流电流 I_{DM}

I_{DM} 指的是二极管长期工作时，允许通过的最大的正向平均电流。在使用时，若电流超过这个数值，将使PN结过热而把管子烧坏。

2. 反向工作峰值电压 U_{RM}

U_{RM} 是指管子不被击穿所允许的最大反向电压。一般这个参数是二极管反向击穿电压的一半，若反向电压超过这个数值，管子将会有击穿的危险。

3. 反向峰值电流 I_{RM}

I_{RM} 是指二极管加反向电压 U_{RM} 时的反向电流值， I_{RM} 越小，二极管的单向导电性愈好。 I_{RM} 受温度影响很大，使用时要加以注意。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，为硅管的几十到几百倍。

4. 最高工作频率 f_M

二极管在外加高频交流电压时，由于PN结的电容效应，单向导电作用退化。 f_M 指的是二极管单向导电作用开始明显退化时的交流信号的频率。

1.2.4 二极管的应用

二极管的应用范围很广，主要都是利用它的单向导电性。下面介绍几种应用电路。

1. 限幅电路

限幅器的功能就是限制输出电压的幅度。

【例 1.2.1】 图 1-12 (a) 就是利用二极管作为正向限幅器的电路图。已知 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，且 $U_m > U_S$ ，试分析电路的工作原理，并作出输出电压 u_o 的波形。

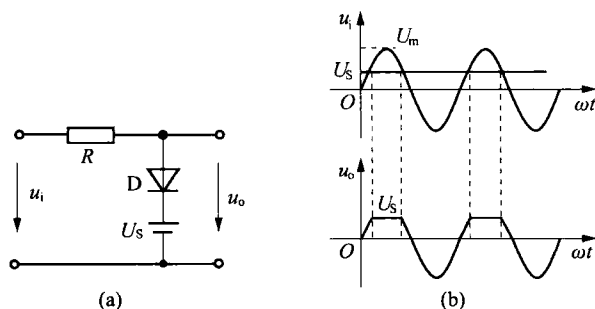


图 1-12