

MONI DIANZI JISHU

模拟电子技术

主 编 ◇ 吴小花



广东高等教育出版社
Guangdong Higher Education Press

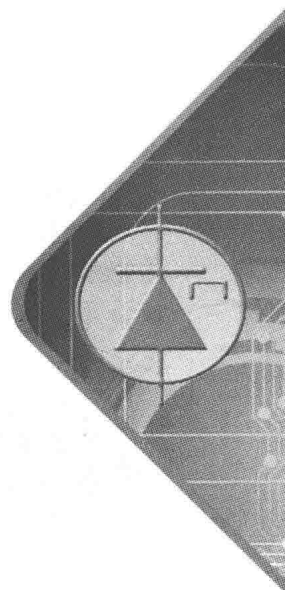
MONI DIANZI JISHU

模拟电子技术

主 编 ◇ 吴小花

副主编 ◇ 牛兴旺

参 编 ◇ 何毅延 温金保



广东高等教育出版社
Guangdong Higher Education Press

• 广州 •

内 容 提 要

本书是根据高职高专教育改革的要求，以及模拟电子技术基础课程的特点，本着“项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则进行编写的，是标准化课程建设配套教材。本教材以项目驱动技能训练的理念，结合现代高职高专教育对模拟电子技术基本理论、基本知识的要求，以典型项目实训为载体，着重突出职业能力的培养。内容包括半导体二极管及基本应用、晶体三极管及基本放大电路、场效应晶体管及其基本放大电路、放大电路的频率响应、集成运算放大器及其应用、放大电路中的反馈、信号发生电路、功率放大电路、直流稳压电源、晶闸管与可控整流电路。

本教材适用于高职高专职业院校的电子信息、通信、供用电、自动化、电气、机电一体化等电类专业的教学。也可供从事相关工作的技术人员、成人教育、职业培训使用或自学者参考。

图书在版编目（CIP）数据

模拟电子技术/吴小花主编. — 广州：广东高等教育出版社，2017. 2
ISBN 978 - 7 - 5361 - 5866 - 5
I. ①模… II. ①吴… III. ①模拟电路 - 电子技术 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 037714 号

出版发行	广东高等教育出版社
	社址：广州市天河区林和西横路
	邮编：510500 电话：(020) 38694893 87551597
	http://www.gdgjs.com.cn
印 刷	广东信源彩色印务有限公司
开 本	787 毫米×1 092 毫米 1/16
印 张	18.75
字 数	429 千
版 次	2017 年 2 月第 1 版
印 次	2017 年 2 月第 1 次印刷
定 价	43.50 元

（版权所有，翻印必究）



前 言

根据国务院规划纲要,“十三五”时期经济社会发展主要设置了“经济发展”“创新驱动”“民生福祉”和“资源环境”等四大主要指标,以及中宣部在深圳召开的座谈会上,中央书记处书记、中宣部部长刘奇葆在会议上讲话时强调“文化领域要深入贯彻习近平总书记系列重要讲话精神,牢固树立和贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,以新理念带动实践新飞跃、赢得发展新优势,推动文化产业结构优化升级,培育新型文化业态,增强供给结构对需求文化的适应性和灵活性,提高文化改革发展的质量和效益。”根据现代高等职业教育要由“重视规模发展”转向“注意提高素质”的发展要求,教学应以培养就业市场为导向的、具备职业化特征的高素质技能型人才为目标。结合教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)精神,本着“以就业为导向、以能力为本位”的指导思想,我们深入开展了职业教育课程的教育改革和标准化课程建设,结合作者多年的教学改革和实践经验,编写了项目化教程《模拟电子技术》。本书以电类专业应具备的岗位职业能力为依据,遵循学生认知规律,紧密结合职业资格证考试中对电子技能所需的要求编写了本书。

本书具有如下几个方面的特点:

1. 学习情境引导,项目实施,力求突出“应用性、技能性和趣味性”。每章设置了一个学习情境和编排1~3个实训项目。以人们熟悉的情景帮助认识相关知识的关联和想象,以项目实训,配以课堂仿真,提高学生的学习兴趣 and 帮助学生理解理论知识。

2. 以完成项目任务为主线,连接相应的理论知识和技能实操,融“教、学、做”为一体,有利于教学互动。

3. 把理论和实践融为一体,引导学生自主思维,激发学生的学习积极性,加强学生应用能力的培养。

全书内容包括:半导体二极管及基本应用、晶体三极管及基本放大电路、

场效应晶体管及其基本放大电路、放大电路的频率响应、集成运算放大器及应用、放大电路中的反馈、信号发生电路、功率放大电路、直流稳压电源、晶闸管与可控整流电路等。本书参考课时为 72 课时。

本书由广东水利电力职业技术学院吴小花主编，牛兴旺副主编，何毅廷、温金保参加了编写。其中，吴小花负责全书的统稿和定稿并编写第一、二、三、六、七、八、九、十章内容及所有实训项目，牛兴旺编写第四、五章内容和审校，何毅廷、温金保参与全书的校对、文字修订和部分电子课件 PPT 的制作。

本书面向高职院校供用电专业、自动化技术、电子信息技术机电一体化技术等电类专业编写，建议授课时数为 60 到 80。不同专业使用，可根据自身的特点进行内容取舍。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在一些疏漏和不妥之处，敬请使用本书的师生和读者批评指正，以便修订时改进。在使用本书的过程中如有其他意见或建议，恳请向编者踊跃提出宝贵意见。谢谢！

编 者
2017 年 1 月



学习情境一 LED 显示屏

第一章 半导体二极管及基本应用 / 2

1.1 半导体的特性 / 2

1.1.1 本征半导体 / 3

1.1.2 杂质半导体 / 4

1.1.3 PN 结的形成及其单向导电性 / 6

1.2 半导体二极管 / 7

1.2.1 二极管的结构 / 8

1.2.2 二极管的伏安特性 / 8

1.2.3 二极管的主要参数 / 10

1.2.4 二极管的检测与判断 / 10

1.3 半导体二极管的基本应用 / 11

1.3.1 整流电路 / 11

1.3.2 限幅电路 / 12

1.3.3 检波电路 / 12

1.3.4 保护电路 / 13

1.4 特殊二极管 / 13

1.4.1 稳压二极管 / 14

1.4.2 发光二极管 / 15

1.4.3 光电二极管 / 16

1.4.4 激光二极管 / 17

1.4.5 变容二极管 / 17

本章小结 / 17

实训项目 半导体二极管功能测试 / 18

练习题 / 20



学习情境二 耳聋助听器

第二章 晶体三极管及其基本放大电路 / 24

2.1 晶体三极管 / 25

2.1.1 三极管的结构、电路符号及类型 / 25

2.1.2 三极管的电流放大作用 / 26

2.1.3 三极管的特性曲线 / 29

2.1.4 三极管的主要参数 / 31

2.1.5 温度对晶体管特性及参数的影响 / 32

2.1.6 特殊三极管 / 33

2.1.7 三极管的选用原则 / 35

2.1.8 三极管的识别与简单测试 / 35

2.2 共发射极基本放大电路 / 37

2.2.1 共发射极基本放大电路的组成 / 38

2.2.2 共发射极放大电路的工作原理 / 39

2.3 放大电路的静态分析 / 40

2.3.1 用估算法确定静态工作点 / 40

2.3.2 用图解法确定静态工作点 / 41

2.4 放大电路的动态分析 / 42

2.4.1 图解法 / 42

2.4.2 微变等效电路法 / 46

2.5 工作点稳定电路 / 51

2.5.1 温度对静态工作点的影响 / 51

2.5.2 静态工作点稳定电路 / 52

2.6 放大电路三种基本接法 / 54

2.6.1 共集电极放大电路 / 54

2.6.2 共基极放大电路 / 56

2.6.3 三种基本组态的比较 / 59

2.7 多级放大电路 / 59

2.7.1 多级放大电路的组成 / 59

2.7.2 多级放大电路的分析计算 / 61

本章小结 / 63



实训项目一 晶体三极管共射极单管放大电路 / 64

实训项目二 简易晶体管助听器电路 / 67

练习题 / 69



学习情境三 场效应管放大器

第三章 场效应晶体管及其基本放大电路 / 74

3.1 结型场效应管 / 74

3.1.1 结型场效应管的结构 / 74

3.1.2 结型场效应管的工作原理 / 75

3.1.3 结型场效应管特性曲线 / 76

3.2 绝缘栅型场效应管 / 78

3.2.1 N沟道增强型 MOS管 / 79

3.2.2 N沟道耗尽型 MOS管 / 82

3.2.3 P沟道 MOS管简介 / 83

3.3 场效应管的主要参数 / 83

3.4 场效应管的特点及使用注意事项 / 85

3.5 用万用表检测场效应管 / 86

3.6 场效应管基本放大电路 / 87

3.6.1 场效应管的偏置及其电路的静态分析 / 87

3.6.2 场效应管的微变等效电路 / 88

3.6.3 共源极放大电路 / 89

3.6.4 共漏极放大电路 / 91

3.6.5 共栅极放大电路 / 93

本章小结 / 94

实训项目 结型场效应管放大器 / 94

练习题 / 95



学习情境四 滤波器

第四章 放大电路的频率响应 / 99

4.1 频率响应的一般概念 / 99

4.1.1 频率失真 / 100

4.1.2	表征放大电路频率响应的主要参数 /	100
4.1.3	波特图的表示方法 /	101
4.1.4	放大电路频率响应的分析方法 /	102
4.2	三极管的频率参数 /	106
4.2.1	单级共射放大电路的高频响应 /	106
4.2.2	单级共射放大电路的低频响应 /	107
4.3	多级放大电路的频率响应 /	108
本章小结 /		109
实训项目 三极管放大电路的频率特性 /		109
练习题 /		111



学习情境五 电压跟随器

第五章	集成运算放大器及其应用 /	114
5.1	集成运算放大器简介 /	115
5.1.1	集成运算放大器概述 /	115
5.1.2	模拟集成电路的特点 /	115
5.1.3	集成运放的基本组成 /	116
5.1.4	集成运放的主要参数 /	116
5.2	差动放大电路 /	119
5.2.1	零点漂移 /	119
5.2.2	简单差动放大电路 /	119
5.2.3	射极耦合差动放大电路 /	122
5.3	集成运算放大器的应用 /	123
5.3.1	集成运放的线性应用 /	123
5.3.2	集成运放的非线性应用 /	130
5.4	集成运放的种类及使用注意事项 /	134
5.4.1	集成运算放大器的型号选择 /	134
5.4.2	运算放大器的调零及消振 /	135
5.4.3	集成运算放大器的保护措施 /	136
本章小结 /		137
实训项目一 运算放大器基本应用 /		137
实训项目二 集成运算放大器指标测试 /		141

实训项目三 音调控制电路制作与调试 /	144
练习题 /	145



学习情境六 负反馈放大电路

第六章 放大电路中的反馈 /	149
6.1 反馈的基本概念及判断方法 /	149
6.1.1 反馈的基本概念 /	149
6.1.2 反馈的判断方法 /	150
6.1.3 反馈的一般表达式 /	155
6.1.4 四种反馈组态 /	156
6.2 负反馈对放大电路性能的影响 /	161
6.2.1 提高放大电路放大倍数的稳定性 /	161
6.2.2 减小放大电路非线性失真 /	162
6.2.3 展宽通频带 /	163
6.2.4 改变输入电阻和输出电阻 /	165
6.3 深度负反馈放大电路的分析计算 /	168
6.3.1 深度负反馈的实质 /	168
6.3.2 深度负反馈条件下放大倍数的估算 /	169
6.4 负反馈放大电路的自激振荡和消除方法 /	174
6.4.1 负反馈放大电路产生自激振荡的原因和条件 /	174
6.4.2 负反馈放大电路稳定性的判定 /	175
6.4.3 负反馈放大电路自激振荡的消除方法 /	176
本章小结 /	178
实训项目 负反馈放大电路 /	179
练习题 /	182



学习情境七 函数信号发生器

第七章 信号发生电路 /	185
7.1 正弦波信号发生电路 /	186
7.1.1 正弦波振荡电路的基本组成 /	186
7.1.2 正弦波振荡电路的分析方法 /	187

7.2	RC 正弦波振荡电路 / 188
7.2.1	RC 串并联正弦波振荡电路 / 188
7.2.2	移相式正弦波振荡电路 / 192
7.2.3	双 T 型选频网络正弦波振荡电路 / 193
7.3	LC 正弦波振荡电路 / 194
7.3.1	LC 并联电路的特性 / 194
7.3.2	变压器反馈式正弦波振荡电路 / 196
7.3.3	电感三点式正弦波振荡电路 / 197
7.3.4	电容三点式正弦波振荡电路 / 198
7.4	石英晶体振荡电路 / 200
7.4.1	石英晶体的基本特性和等效电路 / 201
7.4.2	石英晶体振荡电路 / 202
7.5	非正弦波信号发生电路 / 203
7.5.1	矩形波发生电路 / 203
7.5.2	三角波发生电路 / 206
7.5.3	压控振荡器 / 208
	本章小结 / 209
	实训项目 简易函数信号发生器的制作 / 210
	练习题 / 212



学习情境八 音频功率放大器

第八章	功率放大电路 / 216
8.1	功率放大电路概述 / 216
8.2	功率放大电路的主要参数和分类 / 217
8.3	互补对称式功率放大电路 / 219
8.3.1	乙类 OCL 互补对称功率放大电路 / 219
8.3.2	甲乙类 OCL 互补对称功率放大电路 / 223
8.3.3	OTL 互补对称功率放大电路 / 224
8.3.4	集成运放与 OCL 功放组成的功率放大电路 / 225
8.4	集成功率放大器及其应用简介 / 225
8.4.1	LM386 集成功率放大器及其应用 / 225
8.4.2	TDA2030 集成功率放大器及其应用 / 228



- 8.5 功放管的散热和安全使用 / 230
 - 8.5.1 功放管的二次击穿 / 230
 - 8.5.2 功放管的散热 / 231
- 本章小结 / 232
- 实训项目 OTL 功率放大电路的制作与调试 / 232
- 练习题 / 235



学习情境九 直流稳压电源

第九章 直流稳压电源 / 240

- 9.1 直流稳压电源的基本构成 / 240
- 9.2 整流电路 / 241
 - 9.2.1 单相半波整流电路 / 241
 - 9.2.2 单相全波整流电路 / 242
 - 9.2.3 单相桥式整流电路 / 243
- 9.3 滤波电路 / 243
 - 9.3.1 电容滤波电路 / 243
 - 9.3.2 电感滤波电路 / 246
 - 9.3.3 LC 滤波电路 / 247
 - 9.3.4 π 型 RC 滤波电路 / 248
- 9.4 并联型晶体管稳压电路 / 249
- 9.5 串联型晶体管稳压电路 / 252
 - 9.5.1 电路组成及工作原理 / 252
 - 9.5.2 输出电压的可调范围 / 254
 - 9.5.3 调整管的选择 / 254
 - 9.5.4 稳压电源的过载保护电路 / 255
- 9.6 集成稳压电路 / 257
 - 9.6.1 三端集成稳压器的组成 / 257
 - 9.6.2 三端集成稳压电路的符号及主要参数 / 258
 - 9.6.3 三端集成稳压器的应用 / 260
 - 9.6.4 三端可调式集成稳压器 / 262
- 9.7 开关型稳压电路 / 264
 - 9.7.1 开关型稳压电路的特点和分类 / 264

9.7.2 开关型稳压电源的基本工作原理 / 265

本章小结 / 268

实训项目 直流稳压电路制作与测试 / 268

练习题 / 270



学习情境十 声控开关

第十章 晶闸管与可控整流电路 / 274

10.1 晶闸管的结构和工作原理 / 274

10.2 晶闸管的型号和伏安特性 / 275

10.3 晶闸管的主要参数 / 276

10.4 单相可控整流电路 / 277

10.5 单结晶体管触发电路 / 280

本章小结 / 283

实训项目 声控延时开关电路 / 283

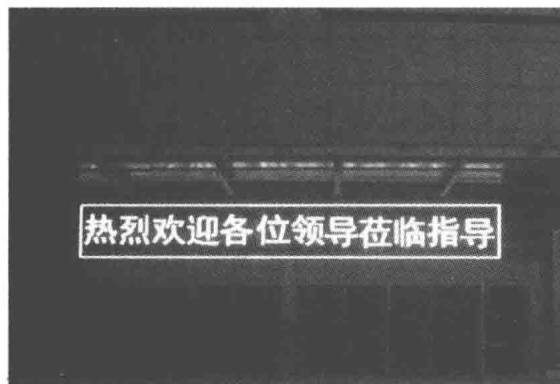
练习题 / 285

学习情境一 LED 显示屏

LED 显示屏我们并不陌生。在日常生活中，我们常常可以见到街头或建筑物外墙竖立着大大小小的电子广告牌，有单色的也有彩色的，播放着文字、图片、视频信息等。LED 显示屏由一个个小的 LED 单元组成。

LED 是 light emitting diode 的缩写，意为发光二极管。发光二极管是由镓 (Ga) 与砷 (As)、磷 (P)、氮 (N)、铟 (In) 等化合物制成的半导体二极管，当电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而可以用来制成发光二极管。磷砷化镓二极管发红光，磷化镓二极管发绿光，碳化硅二极管发黄光，铟镓氮二极管发蓝光。

在这个学习情境中，设置了二极管的功能测试实训项目，包括二极管的单向导电性、整流等。通过二极管的功能测试，加深对二极管的认识，进一步熟悉二极管的单向导电性及其应用。



【教学任务】

- (1) 介绍半导体技术的发展与现状。
- (2) 介绍半导体二极管在电路中的基本应用。
- (3) 介绍 Proteus ISIS 的基本操作方法。

【教学目标】

- (1) 了解二极管的构成及其工作原理。
- (2) 提高学生对半导体材料导电特性的认识能力。
- (3) 掌握二极管的应用。
- (4) 培养学生养成认真分析、仔细研究、合理推导的思维习惯。

【教学内容】

- (1) PN 结的构成及单向导电特性。
- (2) 二极管的组成、分类、外加电压下的工作过程。
- (3) 二极管整流电路的种类、工作原理和具体应用分析。
- (4) 滤波电路的种类和工作原理分析。
- (5) 特殊用途二极管的应用。

【教学实施】

多媒体课件、实物展示、原理分析相结合，辅以应用实例探讨。

第一章 半导体二极管及基本应用

【基本概念】

本征半导体，空穴和自由电子，载流子，N 型半导体和 P 型半导体，PN 结，扩散运动、漂移运动和复合，结电容，伏安特性，导通、截止和击穿，等效电路，二极管、稳压管和发光二极管。

【基本电路】

整流电路，与门，稳压管稳压电路，限幅电路。

【基本方法】

二极管和稳压管工作状态的分析方法，二极管电路波形分析方法。

自然界的各种物质，根据其导电能力的不同，可以分为导体、绝缘体和半导体三大类。例如，铜、铝、铁、银等金属材料都是良导体，导电性能很差的塑料、橡胶等物质是绝缘体，导电性能介于导体和绝缘体之间的物质统称为半导体。

半导体器件是组成各种电子电路的基础。本章介绍半导体的导电特性、半导体二极管的工作原理和基本应用。

1.1 半导体的特性

物质的导电性能是由其原子结构决定的，如 4 价元素硅（锗）的原子结构有一个共同点，即原子最外层有 4 个价电子。在电子元件中，常用的半导体材料有硅（Si）、锗（Ge）等，化合物半导体如砷化镓（GaAs）等，其中硅是最常用的一种半导体材料。

硅原子结构简图如图 1-1 所示。最外层电子称作价电子，4 价元素的原子常用 +4



电荷的正离子和周围 4 个价电子表示。

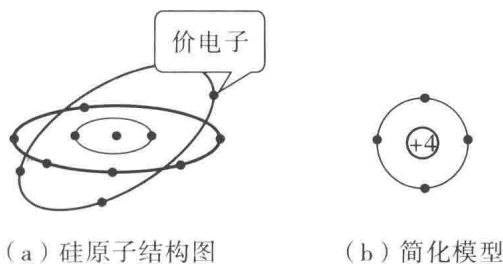


图 1-1 硅原子结构图和简化模型

1.1.1 本征半导体

1. 半导体的导电特性

纯净的、不含其他杂质的半导体称作本征半导体。本征半导体在热力学温度 $T=0\text{ K}$ （相当于 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）时不导电，如同绝缘体。半导体具有如下的导电特点：

- (1) 半导体的导电能力介于导体与绝缘体之间。
- (2) 半导体受外界光和热的刺激时，其导电能力会有显著变化。
- (3) 在纯净半导体中，加入微量的杂质，其导电能力会急剧增强。

温度、光照、是否掺入杂质元素对半导体导电性能的强弱影响很大，当半导体温度升高、光照加强、掺入杂质元素时，其导电能力将大大增强。

2. 本征半导体的原子结构及共价键

共价键内的两个电子由相邻的原子各用一个价电子组成，称为束缚电子，其示意图如图 1-2 所示。

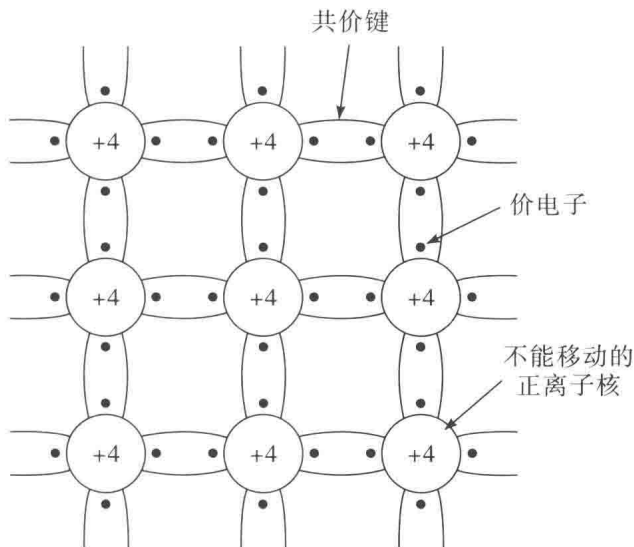


图 1-2 本征半导体原子结构及共价键示意图

3. 本征激发现象

当温度升高或受光照射时，共价键中的价电子获得足够能量，从共价键中挣脱出来，变成自由电子，同时在原共价键的相应位置上留下一个缺少负电荷的空位，这个空位称为空穴，如图 1-3 所示。显然，空穴带正电荷。

在外电场或其他能源的作用下，邻近的价电子和空穴产生相对的填补运动。这样，电子和空穴就产生了相对移动，它们的运动方向虽然相反，但形成的电流方向是一致的。

可见，本征半导体中存在着两种载流子，即自由电子和空穴，而导体中只有一种载流子，即自由电子，这是半导体与导体的本质区别。

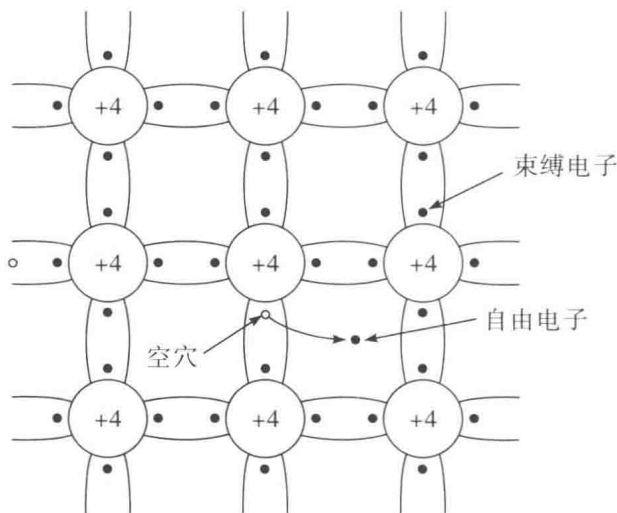


图 1-3 本征激发共价键示意图

1.1.2 杂质半导体

本征半导体实际使用价值不大，但如果在本征半导体中掺入微量的某种杂质元素，其导电性能会显著改变。根据掺入杂质的性质不同，可形成两类半导体：电子型（N 型）半导体和空穴型（P 型）半导体。

1. N 型半导体

在本征半导体（以硅为例）中掺入微量的 5 价元素（如磷、砷等）的半导体称为 N 型半导体。因杂质原子中只有 4 个价电子能与周围 4 个半导体原子中的价电子形成共价键，而多余的一个价电子因无共价键束缚而很容易形成自由电子，如图 1-4 所示。

N 型半导体中自由电子是多数载流子（简称“多子”），它主要由杂质原子提供，空穴是少数载流子（简称“少子”），由热激发形成。提供自由电子的 5 价杂质原子因带正电荷而成为正离子，因此 5 价杂质原子也称为施主杂质。

N 型半导体的特点：自由电子是多子，空穴是少数载流子。