



电子技术

(双语版)

电工学 (下册)

Electrical Engineering(II):Electronics

王宇野 汤春明 马惠珠 编著

清华大学出版社



电子技术

(双语版)

电工学 (下册)

Electrical Engineering(II):Electronics

王宇野 汤春明 马惠珠 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《电工学》的下册,主要内容包括基本半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、功率电子电路、数字电路基础、组合逻辑电路、时序数字电路、数/模和模/数转换技术、波形的产生与整形以及可编程逻辑器件和 EDA 技术概述,共 10 章。本书主要内容使用中文编写,其中专业术语附有英文对照,书中的例题、习题等内容使用英文编写。本书的姊妹篇《电工技术》内容包括电路的基本概念和电路元件、电路分析基础、正弦交流电路、三相电路、电路的暂态分析、磁路和变压器、电动机和电气控制技术,共 8 章,宜与本书配套使用。

本书概念描述清晰易懂;内容新颖实用,贴近工程实际。可作为高等院校本科非电类各专业相关课程的教材,特别适合开设双语电工学课程的院校使用;也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育中同类课程的教材;还可以作为工程技术人员的学习参考资料。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术:双语版.下册,电工学:汉、英/王宇野,汤春明,马惠珠编著.——北京:清华大学出版社,2013

中外合作办学双语教学系列教材

ISBN 978-7-302-33046-2

I. ①电… II. ①王… ②汤… ③马… III. ①电子技术—双语教学—高等学校—教材—汉、英
②电工技术—双语教学—高等学校—教材—汉、英 IV. ①TN ②TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 146309 号

责任编辑:石磊 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm

印 张:19

字 数:409 千字

版 次:2013 年 10 月第 1 版

印 次:2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:38.00 元

产品编号:028508-01

“中外合作办学双语教学系列教材”

编 委 会

主任委员：杨德森

副主任委员：张大铸 刘 平 宗希云 于险波

委 员：（以姓氏笔画为序）

卜长江 马惠珠 王宇野 王振清

印桂生 石 磊 汤春明 吴良杰

张学义 张忠民 李柏洲 沈继红

邹广平 苑立波 贾念念 郭黎利

董宇欣 韩广才

中外合作办学是我国教育事业的组成部分。自《中外合作办学条例》及其实施办法公布施行以来,在国家“扩大开放、规范办学、依法管理、促进发展”方针的指引下,教育部相继发布了一系列规范性文件,对加强中外合作办学的管理工作发挥了重要作用。中外合作办学逐步走上了规范发展的轨道,并得到了迅猛发展。一些中外合作办学机构、项目在办学实践中,积极引进外国优质教育资源,大胆探索新的办学模式和人才培养模式,积累了不少好的经验。但是,在教材建设等领域也存在着一些急需研究、探讨的课题。双语教学目前在我国高等教育领域已经进行得如火如荼,在中外合作办学中更是得到了广泛开展。在双语教学过程中,主要以采用国外原版教材为主。但是,从教学实践来看,特别是在一些公共基础课和专业基础课中,选用外文原版教材授课存在一定的不足。例如,部分原版教材的教学体系、教学内容与我国的不完全一致,与其他课程教材衔接性差,无法适应我国高等教育的实际需求。另外,在一些课程中既重要又难学的概念、原理全部运用汉语来解释,学生尚不能很好理解;如果用英语来解释,由于受外语水平的限制以及文化差异,会导致部分学生学不懂。因此,开发一批中英文合著,既兼顾国外高等教育教学理念,又结合我国高等教育实际发展需要,适用于双语教学的高等学校教材成为我们进一步提高教学质量和效果的迫切需求。

哈尔滨工程大学自 2003 年招收首届中外合作办学学生至今,已经走到第 8 个年头,中外合作教育项目稳步推进,目前与美、英、法、澳、俄等国家的 14 所高校开展了中外合作办学或者学生校际交流工作。为了落实教育部对中外合作办学中引进国外合作院校优质教育资源的要求,哈尔滨工程大学现已累计选派近百名教师赴国外知名高校学习或研修。这些教师对于固化中外合作办学过程中积累的教改成果和引进的先进教育理念与教学方法、更新教学内容提供了强大的人力保证。

正是在这样的环境下,哈尔滨工程大学与清华大学出版社合作,组织编写了这套“中外合作办学双语教学系列教材”。这套丛书的第一辑包括《大学计算机基础》、《材料力学》、《理论力学》、《高等数学(上)》、《高等数学(下)》、《线性代数》、《概率论与数理统计》、《电工技术》及《电子技术》,共九种。

本套丛书主要由哈尔滨工程大学教师编写,这些教师有在国外知名院校学习或研修的经历,在多年的学习、教学和研究中,他们不仅熟悉中国高校相关学科、课程的教学体系及内容,对国外相关学科、课程的教学体系及内容亦有比较深入的研究。

本套丛书采用中文与英文混合编写模式,各教材均以国家规定的教学基本要求为依据,充分汲取国外优秀教材的优点,密切结合我国双语教学、中外合作办学的实际需求。各书在原理和理论介绍过程中,尽量由浅入深,以中文为主,其中专业术语采用中英文对照;例题及习题和答案一般采用英文编写,部分教材还在每一章中增加了英文编写的小结和实践阅读材料。这些安排有利于保证学生在掌握课程内容的同时,逐步消除学习过程中语言转换上的障碍,以顺利适应使用英语进行后续专业课程的学习以及学生校际交流的要求。

本套丛书吸收了国外教材中理论分析与实践应用紧密结合的特点,信息量大、图表案例丰富,在保证学生理论学习的同时,注重培养学生的探索精神,有助于引导学生自主学习。教学内容反映了所在学科国际上最新的研究动态和科研成果。在教学内容设计上,有利于教学过程中的师生互动,所给予的提示、资料、方法、手段等渗透了国外先进的教学思想、教学模式和教学方法。

本丛书中的教材在正式出版之前均印制成讲义进行了试用,深受师生的好评。为了保证丛书质量,我们邀请国内相关学科的专家、学者以及国外合作院校的专家、学者进行了审阅和校勘。但是,由于时间仓促和编委们水平所限,教材中可能存在不足甚至错误之处,恳请广大读者批评指正,以便进一步完善。

本套丛书可以作为高等学校教材,也可用于各级教育主管部门举办的相关培训,还可以作为大学生自学之用。

打开一扇窗口,让世界了解中国的高等教育;打开一道大门,让中国的高等教育走向世界。愿这套丛书的出版能够为这一期盼做出贡献!



2010年10月于哈尔滨

随着经济全球化、文化多样化、人才流动国际化趋势的进一步加剧,高等教育的发展正趋向于教育方式的国际化和人才培养的綜合化。电工学作为高等学校本科非电类专业的一门技术基础课程,在本科教育国际化的今天,其教学质量的好坏直接影响着学生对后续课程的学习。针对国内培养的本科生到国外进一步深造的需求,我们推出了这套《电工学》双语教材。本套教材分为上下两册,上册为《电工技术》,下册为《电子技术》。根据教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会最新发布的“电工学课程教学基本要求”,由多年从事电工学教学且具有留学经历的教师编写。

本册为《电子技术》。编者在参阅了大量国内外同类教材的基础上,结合实际教学经验,对教材内容和章节顺序作了精心安排,注重基本原理,贴近工程实际,写作风格力求通俗易懂。本册内容包括基本半导体器件(包括半导体的基础知识、半导体二极管、半导体三极管等),基本放大电路(包括放大电路的基本结构、共发射极放大电路、共集电极放大电路、多级放大电路等),集成运算放大器(包括集成运放的基本特性、放大电路中的反馈、集成运放的线性运用、集成运放的非线性应用等),功率电子电路(包括低频功率放大电路、直流稳压电源、功率半导体器件及应用等),数字电路基础(包括数制与编码、逻辑代数基础、集成门电路等),组合逻辑电路(包括组合逻辑电路的分析与设计、编码器、译码器、加法器等),时序数字电路(包括触发器、时序数字电路的分析、寄存器、计数器等),数/模和模/数转换技术(包括数/模转换技术、模/数转换技术),波形的产生与整形(包括正弦波振荡电路、555 定时器及其功能、多谐振荡器、单稳态触发器),可编程逻辑器件和 EDA 技术概述(包括可编程逻辑器件、常用 EDA 工具等),共 10 章。根据技术发展的最新需要,我们增设了一些选修内容(在目录中标注了“*”),力求在满足基本教学要求的基础上,拓宽学生的知识面。

本书采用中英双语。在原理和理论介绍过程中,以中文为主,其中涉及的专业术语则有英文对照,所有的例题及习题均使用英文。在每一章的最后一节增加了 Practical Perspective,主要介绍与该章基本理论有关的一些实际应用电路和产品。该节内容全部采用英文,可作为启发式教学的讨论内容,也可作为学生课后英文阅读资料,以引发学生的学习兴趣。在每章的结尾有一个英文的 Summary,总结该章内容。每章后面的习题,精选了一些实际应用电路,在学习过程中可以通过配套的实验环节培养和提高学生的动手能力和实际分析能力。另外,词汇表中汇总了全书中出现的所有专业词汇的中英文对照及在书中第一次出现时所处的章节号,以方便学生迅速查找。

本书可作为高等院校非电类各专业相关课程的教材,特别适合开设双语电工学课程的院校使用;也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育中同类课程的教材;还可以作为工程技术人员的学习参考资料。本教材可供 32~64 学时教学使用。

本书由哈尔滨工程大学信息与通信工程学院的王宇野副教授负责统稿、定稿。马惠珠教授编写了本书的第 1~3 章,汤春明教授编写了第 4~6 章,王宇野副教授编写了第 7~10 章。在三位教师的共同努力下,历时两年多终于完成了全书的编写工作。尽管全书每一章中的内容和组织都经过多次讨论、修改后才定稿,并经过一学期的试用,但由于编者水平有限,难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

衷心感谢清华大学出版社的石磊主任和哈尔滨工程大学国际合作学院的刘平院长、于险波副院长为本书的出版所做的工作。

编 者

2013 年 5 月

第 1 章 基本半导体器件	1
引言	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的导电特性	1
1.1.2 PN 结	3
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 二极管的特性和主要参数	4
1.2.2 二极管的等效电路	6
1.2.3 特殊二极管	8
1.3 半导体三极管	11
1.3.1 三极管的结构及其放大作用	11
1.3.2 三极管的特性曲线及主要参数	14
1.4 Practical Perspective	18
Summary	19
Problems	19
第 2 章 基本放大电路	22
引言	22
2.1 放大电路的基本概念与分析方法	22
2.1.1 放大电路的基本结构	22
2.1.2 放大电路的基本概念	24
2.1.3 静态分析	25
2.1.4 动态分析	27
2.2 三极管基本放大电路分析	31
2.2.1 共发射极放大电路	31

2.2.2 共集电极放大电路	36
2.3 多级放大电路	39
2.4 Practical Perspective	41
Summary	42
Problems	42
第3章 集成运算放大器	45
引言	45
* 3.1 集成运放的组成	45
* 3.1.1 集成运放的输入级电路——差分放大电路	46
* 3.1.2 集成运放的输出级电路——互补对称电路	48
3.2 集成运放的基本特性	49
3.2.1 集成运放的电路符号	49
3.2.2 集成运放的主要技术指标	49
3.2.3 集成运放的电压传输特性与电路模型	50
3.2.4 集成运放的理想特性	51
3.3 放大电路中的反馈	52
3.3.1 反馈的基本概念	52
3.3.2 反馈的判断	52
3.3.3 负反馈对放大电路性能的影响	53
3.4 集成运放的线性应用	56
3.4.1 比例运算电路	56
3.4.2 加、减法运算电路	58
3.4.3 积分、微分运算电路	60
3.5 集成运放的非线性应用	62
3.5.1 电压比较器	62
3.5.2 矩形波发生器	63
3.6 Practical Perspective	64
Summary	66
Problems	67
第4章 功率电子电路	70
引言	70
4.1 低频功率放大电路	70
4.1.1 功率放大电路的基本要求及类型	70

4.1.2 基本功率放大电路	72
4.1.3 集成功率放大器举例	75
4.2 直流稳压电源	78
4.2.1 单向桥式整流电路	78
4.2.2 滤波电路	81
4.2.3 直流稳压电路	84
* 4.3 功率半导体器件及应用	90
4.3.1 半控型器件——晶闸管	90
4.3.2 全控型器件——绝缘门极双极晶体管	93
4.3.3 可控整流电路	95
4.4 Practical Perspective	97
Summary	100
Problems	101
第5章 数字电路基础	105
引言	105
5.1 数制与编码	105
5.1.1 常用的进位计数制	105
5.1.2 数制间的转换	107
5.1.3 编码	110
5.2 逻辑代数基础	112
5.2.1 基本逻辑运算	112
5.2.2 逻辑代数的基本公式	115
5.2.3 逻辑函数的表示和化简	117
5.3 集成门电路	123
5.3.1 门电路基础	123
5.3.2 TTL 与非门电路	124
5.3.3 其他集成逻辑门电路介绍	128
5.4 Practical Perspective	131
Summary	132
Problems	133
第6章 组合逻辑电路	135
引言	135
6.1 组合逻辑电路的分析与设计	135
6.1.1 组合逻辑电路的分析	135

6.1.2	组合逻辑电路的设计	137
6.2	编码器	140
6.2.1	普通编码器	140
6.2.2	二-十进制编码器	141
6.3	译码器	144
6.3.1	二进制译码器	144
6.3.2	数字显示译码器	148
6.3.3	数据选择器和数据分配器	151
6.3.4	数值比较器	153
6.4	加法器	156
6.5	Practical Perspective	158
	Summary	159
	Problems	160
第7章	时序数字电路	164
	引言	164
7.1	触发器	164
7.1.1	RS 触发器	164
7.1.2	JK 触发器	167
7.1.3	D 触发器	169
7.1.4	T 触发器	171
7.1.5	触发器逻辑功能的转换	171
7.1.6	触发器的参数	174
7.2	时序数字电路的分析	174
7.2.1	同步时序数字电路的分析	175
7.2.2	异步时序数字电路的分析	179
7.3	寄存器	181
7.3.1	基本寄存器	181
7.3.2	移位寄存器	182
7.4	计数器	185
7.4.1	二进制计数器	185
7.4.2	十进制计数器	188
7.4.3	使用集成计数器构成 N 进制计数器	192
7.5	Practical Perspective	197
	Summary	198

Problems	199
第 8 章 数/模和模/数转换技术	204
引言	204
8.1 数/模转换技术	205
8.1.1 数/模转换的基本原理	205
8.1.2 倒 T 形电阻网络数/模转换电路	205
8.1.3 数/模转换器的主要技术指标	206
8.1.4 集成数/模转换器介绍	208
8.2 模/数转换技术	209
8.2.1 模/数转换的基本原理	209
8.2.2 并行模/数转换器	211
8.2.3 逐次逼近型模/数转换器	213
* 8.2.4 双积分型模/数转换器	215
8.2.5 模/数转换器的主要技术指标	216
8.2.6 集成模/数转换器介绍	217
8.3 Practical Perspective	218
Summary	219
Problems	220
第 9 章 波形的产生与整形	223
引言	223
9.1 正弦波振荡电路	223
9.1.1 正弦波振荡电路的基本原理	223
9.1.2 RC 正弦波振荡电路	225
* 9.1.3 LC 正弦波振荡电路	229
* 9.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	233
9.2 555 定时器及其功能	235
9.2.1 555 定时器电路的组成	235
9.2.2 555 定时器的功能	236
9.2.3 由 555 定时器构成的施密特触发器	237
9.3 多谐振荡器	239
9.3.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	239
9.3.2 多谐振荡器的应用	241

9.4 单稳态触发器	242
9.4.1 用 555 定时电路构成的单稳态触发器	242
9.4.2 单稳态触发器的应用	243
9.5 Practical Perspective	245
Summary	246
Problems	247
第 10 章 可编程逻辑器件和 EDA 技术概述	250
引言	250
10.1 可编程逻辑器件	250
10.1.1 通用阵列逻辑(GAL)	251
10.1.2 复杂可编程逻辑器件(CPLD)的构造原理及应用	253
10.1.3 现场可编程门阵列(FPGA)的构造原理及应用	257
10.2 常用 EDA 工具	264
10.2.1 Quartus II 软件介绍	266
10.2.2 Xilinx ISE 软件介绍	280
10.3 Practical Perspective	282
Summary	284
Problems	285
参考文献	287

基本半导体器件

引言

本章主要介绍导电能力介于导体和绝缘体之间的半导体材料以及二极管、三极管等半导体器件。它们是组成电子电路的核心部件,其基本结构、工作原理、特性及参数等都是学习电子技术和分析电子电路的基础。

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 半导体的导电特性

按导电性能的不同,物质可分为导体、绝缘体和半导体(semiconductor)。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。目前用来制造电子器件的半导体材料主要是硅、锗、硒、大多数金属氧化物和硫化物等。

很多半导体的导电能力在不同条件下有很大差别,会随温度、光照或掺入某些杂质而发生显著变化。例如,有些半导体(如钴、锰、镍等的氧化物)对温度的反应特别灵敏,它们的导电能力随着环境温度的升高而增强,利用这种特性,可以做成热敏电阻。又如,有些半导体(如镉、铅等的硫化物与硒化物)受到光照时,导电能力增强,无光照时,像绝缘体那样不导电,利用这种特性,可以做成光敏电阻。更重要的是,在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,其导电能力可以增加几十万甚至几百万倍,利用这种特性可以做成各种不同用途的半导体器件,如二极管(diode)、晶体管(transistor)、场效应管(field-effect transistor, FET)等。

用得最多的半导体材料是硅和锗,去除无用杂质提纯后制成单晶体,所有原子便按一定间隔整齐排列成有规律的空间点阵(称为晶格)。完全纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体(intrinsic semiconductor)。

硅和锗都是四价元素,其简化原子结构模型如图 1-1 所示。在本征硅和锗的单晶中,由于原子间相距很近,价电子不仅受到自身原子核的约束,还要受到相邻原子核的吸引,使得每个价电子为相邻原子所共有,从而形成共价键。这样四个价电子与相邻的四个原子中的价电子分别组成四对共价键,依靠共价键使晶体中的原子紧密地结合在一起。图 1-2 是单晶硅或锗的共价键结构平面示意图。共价键中的电子,称为价电子。在绝对零度(-273°C)时,所有价电子都被原子核的吸引力束缚在共价键内,不能在晶体中自由移动。此时晶体中没有自由电子,所以半导体不能导电。

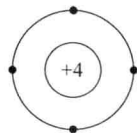


图 1-1 硅和锗简化原子结构模型

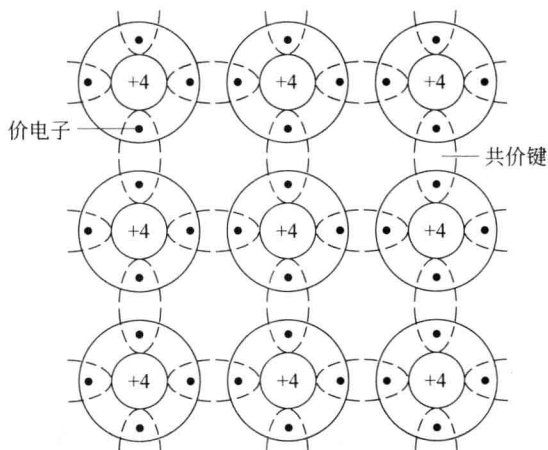


图 1-2 本征半导体共价键晶体结构示意图

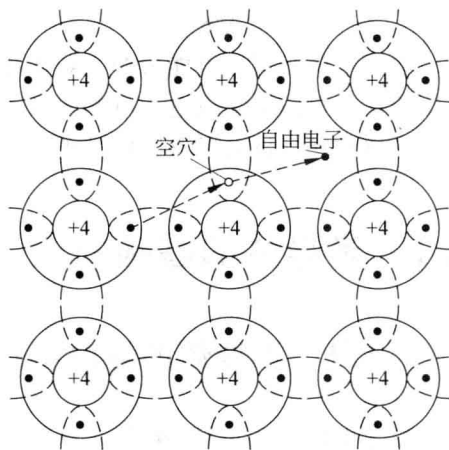


图 1-3 本征激发产生电子和空穴

自由电子(free electron)和空穴(hole, empty state)这两种运载电荷的粒子,统称为载流子(carriers)。自由电子和空穴的数量相等,整个半导体呈现电中性。

如果在纯净的半导体中掺入少量的某种元素,即成为杂质半导体(doped semiconductor)。

下面以硼元素为例,介绍半导体中掺入三价元素的情况。当半导体中掺入三价的硼元素时,硼原子会取代晶体中的少量硅原子,占据晶格上的某些位置。硼原子的 3 个价电子分别与其邻近的 3 个硅原子中的 3 个价电子组成完整的共价键,而与其相邻的另 1 个硅原子的共价键中则缺少 1 个电子,出现了 1 个空穴。这个空穴被附近硅原子中的价电子填充后,使 3 价的硼原子获得了 1 个电子而变成负离子。在本征半导体中每掺入 1 个硼原子就可以

提供1个空穴。掺入的三价元素越多,空穴的数量也越多。这时空穴是多数载流子(majority carriers);同时也存在少量的自由电子,是少数载流子(minority carriers)。因此,掺入硼或铝、镓等三价元素的半导体,称为空穴型半导体,简称P型半导体(P-type semiconductor)。

掺入磷或砷、锑等五价元素的半导体称为电子型半导体,简称N型半导体(N-type semiconductor)。N型半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。

应该注意的是,无论是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,但是整个晶体都是电中性的,对外不显电性。

1.1.2 PN结

如果采用工艺措施,使一块杂质半导体中P型和N型半导体有机地结合在一起,则在二者交界面附近形成PN结(PN junction)。

因为P区一侧空穴多,N区一侧自由电子多,所以在它们的交界面处存在空穴和自由电子的浓度差。于是P区中的空穴会向N区扩散,并在N区与自由电子复合而消失。而N区中的自由电子也会向P区扩散,并在P区与空穴复合而消失。这样在P区和N区分别留下了带负电的杂质离子和带正电的杂质离子。这些离子是不能移动的,因而形成了一个由N区指向P区的电场,称为内电场。随着扩散的进行,空间电荷区加宽,内电场增强,由于内电场的作用是阻碍多数载流子扩散,促使少数载流子漂移,所以,当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,将形成稳定的空间电荷区,称为PN结。上述过程如图1-4(a)、(b)所示。

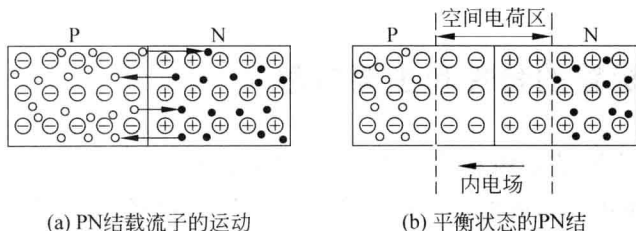


图 1-4 PN 结的形成

PN结具有单向导电的特性。在图1-5中,PN结两侧外加正向电压(P区接外电源正极,N区接外电源负极)。这种接法,称PN结正向偏置(forward bias)。此时外加电压在PN结中产生的外电场和内电场方向相反。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,P区的空穴也要向右边扩散,并与原来空间电荷区的负离子中和,使空间电荷区变窄。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