

国外电子与通信教材系列

# 非线性光纤光学 原理及应用

Nonlinear Fiber Optics, Third Edition

&

Applications of Nonlinear Fiber Optics

[美] Govind P. Agrawal 著

贾东方 余震虹 等译

李世忱 审校



ACADEMIC PRESS



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

www.phei.com.cn

国外电子与通信教材系列

# 非线性光纤光学原理及应用

Nonlinear Fiber Optics, Third Edition  
& Applications of Nonlinear Fiber Optics

[美] Govind P. Agrawal 著

贾东方 余震虹 谈斌 胡智勇 等译  
李世忱 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

光纤是 20 世纪的重大发明之一,其导光性能臻于完美,很难想像还会有更好的替代者。本书是光学、光子学和光通信领域的重要译著,分原理篇和应用篇两部分。原理篇包括光传输方程、群速度色散、自相位调制、调制不稳定性、光孤子、偏振效应、交叉相位调制、受激散射和光参量过程等内容,科学归纳为非线性光纤光学,侧重于基本概念和原理。应用篇内容包括光纤光栅、光纤耦合器,各种光纤干涉仪、光纤放大器和光纤激光器,光脉冲压缩技术,以及有关光纤通信系统和孤子波系统中的传输问题,体现了非线性光纤光学在光波技术、光通信领域的应用。

全书理论严谨,处处结合实际例证,特别是紧密结合光通信领域的新成果与新问题,图文并茂,说清讲透,且各章都附有习题。本书适合作为光学、物理学、电子工程等专业的本科生和研究生教学用书,同时对从事光通信产业的工程技术人员和从事光纤光学、非线性光学领域研究的科技人员来说也是一本非常有用的参考书。

Copyright © 2001 by Elsevier Science (USA).

Translation Copyright © 2002 by Publishing House of Electronics Industry. All rights reserved.

本书中文版专有出版权由 Elsevier Science (USA). 授予电子工业出版社出版。未经许可,不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2002-2102

### 图书在版编目(CIP)数据

非线性光纤光学原理及应用/(美)阿戈沃(Agrawal, G. P.)著;贾东方,余震虹,谈斌等译. —北京:电子工业出版社,2002. 12

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Nonlinear Fiber Optics & Applications of Nonlinear Fiber Optics

ISBN 7-5053-8266-7

I. 非… II. ①阿… ②贾… ③余… ④谈… III. ①非线性光学—教材 ②光纤通信—教材  
IV. 0437 ②TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 092806 号

责任编辑:束传政 韩同平

印刷者:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:36 字数:921.6 千字

版 次:2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:59.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话 (010)68279077

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐 杨千里	北京邮电大学校长、教授、博士生导师 总参通信部副部长、中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师 移动通信国家重点实验室主任
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	阮秋琦	北方交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
	郑宝玉	南京邮电学院副院长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
	徐重阳	华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、教材建设委员会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长、秘书长
	杜振民	电子工业出版社副社长

# 译者的话

光纤通信容量从 1976 年的  $44\text{Mb} \times 10\text{ km}$  发展到了当今的单纤  $3\text{Tb} \times 7000\text{ km}$ ,  $1.65\text{Tb} \times 3000\text{ km}$  的色散管理孤子系统也已实用化。随着容量的提高,非线性光纤光学的重要性日益突出。

本书作者 G. P. Agrawal 博士现任美国 Rochester 大学教授,在激光物理、非线性光学和光纤通信系统领域论著颇丰。我们将作者在此领域的姐妹篇 *Nonlinear Fiber Optics (Third Edition)* 和 *Applications of Nonlinear Fiber Optics* 合在一起译成《非线性光纤光学原理及应用》一书。其中,*Nonlinear Fiber Optics* 作为原理篇,*Applications of Nonlinear Fiber Optics* 作为应用篇。本书的特色之处在于根据传输方程对光纤的各种非线性效应做了科学归纳与剖析,把光纤对信息光脉冲的响应特性说清了,也讲透了。在应用部分,针对建构光纤通信传输系统的光耦合器、光纤干涉仪、光纤光栅、光纤放大器和激光器等光纤光学器件,以及光脉冲压缩技术,分章论述;最后以光纤通信系统和光孤子波系统两章做总结,全书体现了从理论基础到关键光纤器件再到通信传输系统的非线性效应的实际认知过程。

我们于 1991 年翻译出版作者 1989 年的 *Nonlinear Fiber Optics* 的第一版,由胡国绛、黄超翻译,李世忱审校。在此基础上,1999 年余震虹、宋立军、王泰立翻译了作者 1995 年的第二版,但未予出版。第三版除新增“偏振效应”一章之外,几乎各章节都有所修订。*Applications of Nonlinear Fiber Optics*,除“光脉冲压缩”一章源自旧版本之外,都是新内容。本版的翻译工作同样由天津大学光电子技术二室组织。原理篇由贾东方、余震虹主译;应用篇由贾东方翻译第 3、4、5、6 章,谈斌翻译第 7、8 章,胡智勇翻译第 1、2 章,刘俭辉、葛春风和李智勇做了部分校对工作。李世忱总校全书。

由于译校者水平有限,不妥和疏误之处,欢迎广大读者批评指正。感谢 G. P. Agrawal 教授对于本书的出版给予的合作。感谢电子工业出版社对翻译工作的大力支持。由于译校者水平有限,不妥和疏误之处,欢迎广大读者批评指正。

## 中文版序言

非常高兴为 2002 年出版的我的这两本书的中文版写序言。*Nonlinear Fiber Optics (Third Edition)* 中,除第 6 章增加了与光纤中的光传输有关的偏振效应以外,保留了第一版中的大部分内容。*Applications of Nonlinear Fiber Optics*,其英文版单独成册出版,主要是利用 *Nonlinear Fiber Optics* 中介绍的基本概念和原理解决非线性光纤光学的实际应用问题。

天津大学光通信研究室的师生承担了这两本书的翻译工作,并圆满完成任务。该研究组于 1991 年翻译并出版了 *Nonlinear Fiber Optics* 第一版,并为中国广大科技人员和高校师生所接受,这说明他们的翻译工作是高质量的。我相信新的中文版一定会像第一版那样保持它的高质量,并为每个人所喜欢。

由于中文版的出现,我的著作在中国将有更多的读者群,我感到很高兴。在此要感谢译者和中国电子工业出版社为此所做的努力,同时感谢美国 Academic 出版社授权出版中文版。



Rochester, NY



## 第三版前言

自从 1989 年 *Nonlinear Fiber Optics* 第一版出版以来,非线性光纤光学领域发展迅速,其主要因素是光纤放大器的出现,它是通过在石英或氟化物光纤中掺入诸如铟和钕之类的稀土离子而制成。这种放大器使光纤通信系统的设计产生了革命性变化,其中利用到的光孤子通信正是由光纤的非线性效应产生的。由于光放大器能补偿光信号在传输时遇到的所有损耗,因此可以使传输距离超过数千千米。同时,光纤放大器使得大规模波分复用(WDM)成为可能,于是导致了容量超过 1 Tb/s 光波系统的发展。非线性光纤光学在设计这种大容量光波系统中起着越来越重要的作用。实际上,对光波系统设计者来说,了解光纤中的各种非线性效应应该是一个先决条件。

第三版的目的是反映最新的科学成就,其独特之处是全面覆盖了非线性光纤光学学科。我们试图在书中包括非线性光纤光学所有相关课题的最新研究成果,这一宏伟目标使得本书内容增加了许多,有必要分成两本出版。*Applications of Nonlinear Fiber Optics* 着重讨论非线性光纤光学的应用。

*Nonlinear Fiber Optics* 第三版,除了第 6 章讨论与光纤中的光传输有关的偏振效应以外,保留了第一版中的大部分内容。偏振问题变得愈加重要,尤其是对于高速光波系统,此时偏振模色散(PMD)已成为系统中一个重要的限制因素。这样,有必要在非线性光纤光学这门课程中学习 PMD 和偏振效应有关的内容。

本书不仅能满足通信专业高年级本科生、攻读硕士和博士学位的研究生、工程师和技术人员的需要,对从事纤维光学和光学通信研究的科学家也非常有用。因为第一版在一些大学里已被作为研究生教科书,所以在每章的最后都增加了一组习题,使本书更适宜作为非线性光纤光学的教科书或有关非线性光学和光通信课程的参考书。

我要感谢所有对第三版的完成做出直接或间接贡献的人们,特别是我的学生,是他们的好奇心和求知欲使得本书在几方面有了改进。我的一些同事对于此书的出版也给予了不少帮助,他们不但阅读手稿,还提出有价值的意见或建议,在此向他们表示感谢。我还要感谢众多的读者,他们给我反馈了有用的信息。最后,要感谢我的妻子 Anne,女儿 Spira, Caroline 和 Claire,感谢她们对我工作的理解和支持。



Rochester, NY

# 前 言

自 1989 年 *Nonlinear Fiber Optics* 第一版问世以来,这个领域的发展突飞猛进,其中一个主要原因是光纤放大器的出现。放大器由掺杂的石英光纤或氟化物光纤制成,掺杂为稀土离子(如铒和钕)。放大器彻底改变了光纤通信系统的设计,包括那些应用光纤中非线性效应的光孤子系统。因为光放大器能补偿信号在光域的所有损耗,因此能使光信号传播数千千米。同时,光纤放大器的出现使波分复用(WDM)系统的大规模应用变为现实,并可导致光波系统的容量超过 1Tb/s。非线性光纤光学在超大容量光波系统的设计中扮演越来越重要的角色。实际上,对光波系统的设计人员来讲,理解光纤内的各种非线性效应几乎是一个先决条件。

在准备 *Nonlinear Fiber Optics* 的第三版时,我的打算是使本书跟上该领域的最新进展,因此本书可继续作为理解非线性光纤光学这一领域的资料。我所做的一个尝试就是让本书涵盖与非线性光纤光学有关的所有课题的最新研究成果。这样一个雄心勃勃的目标自然就增加了书的内容,有必要分成两本出版。由此就产生了这本新书 *Applications of Nonlinear Fiber Optics*。*Nonlinear Fiber Optics* 第三版论述这一领域的基本原理。*Applications of Nonlinear Fiber Optics* 介绍非线性光纤光学的应用,需要用到 *Nonlinear Fiber Optics* 中涉及的基础知识。

本书大部分资料都是新的。前 3 章论述三种重要的光纤光学器件——基于光纤的光栅、耦合器和干涉仪,这些器件的作用相当于光波技术的建设原料。考虑到稀土掺杂光纤的巨大影响,第 4 章和第 5 章介绍用这样的光纤制成的放大器和激光器。最后 3 章描述非线性光纤光学的应用:脉冲压缩技术,光通信系统,基于孤子的传输方案。本书将在很多方面满足业界需要,如超快现象、光放大器和激光、光通信领域。对以光波技术为研究对象的研究生以及科学家和工程师,这本书也大有裨益。

本书的读者对象包括高年级大学生,攻读硕士和博士学位的研究生,与电信行业有关的工程师和技术人员,以及研究光纤光学和光通信的科学家。本书适合作为非线性光学、光纤光学和光通信课程的研究生教材,可利用本书单独地开设非线性光纤光学的课程。每一章最后都有习题,便于教学。

我要感谢所有对第三版的完成做出直接或间接贡献的人们,特别是我的学生,是他们的好奇心和求知欲使得本书在几方面有了改进。我的一些同事对此书的出版也给予了不少帮助,他们不但阅读手稿,还提出有价值的意见或建议,在此向他们表示感谢。我还要感谢众多的读者,他们给我反馈了有用的信息。最后,感谢我的妻子 Anne,女儿 Spira, Caroline 和 Claire,感谢她们对我工作的理解和支持。



Rochester, NY

# 目 录

## 上篇 原理篇

<b>第 1 章 导论</b> .....	( 3 )
1.1 历史的回顾 .....	( 4 )
1.2 光纤的基本特性 .....	( 4 )
1.2.1 材料和制造 .....	( 5 )
1.2.2 光纤损耗 .....	( 6 )
1.2.3 光纤色散 .....	( 7 )
1.2.4 偏振模色散 .....	( 10 )
1.3 光纤的非线性的特性 .....	( 13 )
1.3.1 非线性折射率 .....	( 13 )
1.3.2 受激非弹性散射 .....	( 14 )
1.3.3 非线性效应的重要性 .....	( 15 )
1.4 综述 .....	( 15 )
习题 .....	( 17 )
参考文献 .....	( 17 )
<b>第 2 章 脉冲在光纤中的传输</b> .....	( 21 )
2.1 麦克斯韦方程组 .....	( 22 )
2.2 光纤中的模式 .....	( 23 )
2.2.1 本征值方程 .....	( 23 )
2.2.2 单模条件 .....	( 25 )
2.2.3 基模特性 .....	( 25 )
2.3 基本传输方程 .....	( 26 )
2.3.1 非线性脉冲传输 .....	( 27 )
2.3.2 高阶非线性效应 .....	( 30 )
2.4 数值方法 .....	( 33 )
2.4.1 分步傅里叶方法 .....	( 34 )
2.4.2 有限差分法 .....	( 36 )
习题 .....	( 36 )
参考文献 .....	( 37 )
<b>第 3 章 群速度色散</b> .....	( 41 )
3.1 不同的传输区域 .....	( 42 )
3.2 色散引起的脉冲展宽 .....	( 43 )

3.2.1	高斯脉冲 .....	( 44 )
3.2.2	啁啾高斯脉冲 .....	( 45 )
3.2.3	双曲正割脉冲 .....	( 46 )
3.2.4	超高斯脉冲 .....	( 47 )
3.2.5	实验结果 .....	( 48 )
3.3	三阶色散效应 .....	( 49 )
3.3.1	脉冲形状的变化 .....	( 50 )
3.3.2	展宽因子 .....	( 51 )
3.3.3	任意形状脉冲 .....	( 53 )
3.3.4	超短脉冲测量 .....	( 55 )
3.4	色散管理 .....	( 55 )
3.4.1	GVD 引起的限制 .....	( 55 )
3.4.2	色散补偿 .....	( 57 )
3.4.3	三阶色散补偿 .....	( 58 )
	习题 .....	( 59 )
	参考文献 .....	( 60 )
<b>第 4 章</b>	<b>自相位调制</b> .....	<b>( 63 )</b>
4.1	SPM 导致脉冲频谱展宽 .....	( 64 )
4.1.1	非线性相移 .....	( 64 )
4.1.2	脉冲频谱的变化 .....	( 65 )
4.1.3	脉冲形状和初始啁啾的影响 .....	( 68 )
4.1.4	部分相干的影响 .....	( 69 )
4.2	群速度色散的影响 .....	( 70 )
4.2.1	脉冲演化 .....	( 71 )
4.2.2	展宽因子 .....	( 73 )
4.2.3	光波分裂 .....	( 74 )
4.2.4	实验结果 .....	( 76 )
4.2.5	三阶色散的影响 .....	( 77 )
4.3	高阶非线性效应 .....	( 79 )
4.3.1	自陡效应 .....	( 79 )
4.3.2	GVD 对光学冲击的影响 .....	( 81 )
4.3.3	脉冲内拉曼散射 .....	( 82 )
	习题 .....	( 83 )
	参考文献 .....	( 84 )
<b>第 5 章</b>	<b>光孤子</b> .....	<b>( 87 )</b>
5.1	调制不稳定性 .....	( 88 )
5.1.1	线性稳定性分析 .....	( 88 )
5.1.2	增益谱 .....	( 89 )

5.1.3	实验观察 .....	( 90 )
5.1.4	超短脉冲产生 .....	( 91 )
5.1.5	调制不稳定性对光通信系统的影响 .....	( 92 )
5.2	光孤子 .....	( 94 )
5.2.1	逆散射方法 .....	( 94 )
5.2.2	基态孤子 .....	( 96 )
5.2.3	高阶孤子 .....	( 97 )
5.2.4	实验验证 .....	( 98 )
5.2.5	孤子稳定性 .....	( 100 )
5.3	其他类型的孤子 .....	( 101 )
5.3.1	暗孤子 .....	( 101 )
5.3.2	色散管理孤子 .....	( 104 )
5.3.3	双稳孤子 .....	( 104 )
5.4	孤子扰动 .....	( 106 )
5.4.1	微扰方法 .....	( 106 )
5.4.2	光纤损耗 .....	( 107 )
5.4.3	孤子放大 .....	( 108 )
5.4.4	孤子互作用 .....	( 111 )
5.5	高阶效应 .....	( 114 )
5.5.1	三阶色散 .....	( 114 )
5.5.2	自陡效应 .....	( 115 )
5.5.3	脉冲内拉曼散射 .....	( 117 )
5.5.4	飞秒脉冲的传输 .....	( 119 )
	习题 .....	( 121 )
	参考文献 .....	( 121 )
<b>第 6 章</b>	<b>偏振效应 .....</b>	<b>( 129 )</b>
6.1	非线性双折射 .....	( 130 )
6.1.1	非线性双折射的起因 .....	( 130 )
6.1.2	耦合模方程 .....	( 131 )
6.1.3	椭圆双折射光纤 .....	( 132 )
6.2	非线性相移 .....	( 133 )
6.2.1	无色散交叉相位调制 .....	( 133 )
6.2.2	光克尔效应 .....	( 134 )
6.2.3	脉冲整形 .....	( 137 )
6.3	偏振态的演变 .....	( 138 )
6.3.1	解析解 .....	( 139 )
6.3.2	庞加莱球表示法 .....	( 140 )
6.3.3	偏振不稳定性 .....	( 142 )
6.3.4	偏振混沌 .....	( 144 )

6.4	矢量调制不稳定性 .....	(144)
6.4.1	低双折射光纤 .....	(145)
6.4.2	高双折射光纤 .....	(146)
6.4.3	各向同性光纤 .....	(148)
6.4.4	实验结果 .....	(149)
6.5	双折射和孤子 .....	(150)
6.5.1	低双折射光纤 .....	(150)
6.5.2	高双折射光纤 .....	(151)
6.5.3	孤子牵引逻辑门 .....	(153)
6.5.4	矢量孤子 .....	(153)
6.6	随机双折射 .....	(155)
6.6.1	偏振模色散 .....	(155)
6.6.2	孤子偏振态 .....	(156)
	习题 .....	(158)
	参考文献 .....	(158)
<b>第7章</b>	<b>交叉相位调制 .....</b>	<b>(164)</b>
7.1	交叉相位调制引起的非线性耦合 .....	(165)
7.1.1	非线性折射率 .....	(165)
7.1.2	耦合 NLS 方程 .....	(166)
7.1.3	光在双折射光纤中的传输 .....	(167)
7.2	交叉相位调制引起的调制不稳定性 .....	(167)
7.2.1	线性稳定性分析 .....	(167)
7.2.2	实验结果 .....	(169)
7.3	XPM 对孤子 .....	(170)
7.3.1	亮—暗孤子对 .....	(170)
7.3.2	亮—灰孤子对 .....	(171)
7.3.3	其他孤子对 .....	(171)
7.4	频域和时域效应 .....	(172)
7.4.1	不对称频谱展宽 .....	(173)
7.4.2	不对称时域变化 .....	(176)
7.4.3	高阶非线性效应 .....	(178)
7.5	XPM 的应用 .....	(179)
7.5.1	XPM 引起的脉冲压缩 .....	(179)
7.5.2	XPM 引起的光开关效应 .....	(181)
7.5.3	XPM 引起的非互易性 .....	(182)
	习题 .....	(183)
	参考文献 .....	(184)

<b>第 8 章 受激拉曼散射</b> .....	(187)
8.1 基本概念 .....	(188)
8.1.1 拉曼增益谱 .....	(188)
8.1.2 拉曼阈值 .....	(189)
8.1.3 耦合振幅方程组 .....	(191)
8.2 准连续波受激拉曼散射 .....	(192)
8.2.1 单通拉曼的产生 .....	(192)
8.2.2 光纤拉曼激光器 .....	(194)
8.2.3 光纤拉曼放大器 .....	(195)
8.2.4 拉曼窜扰 .....	(199)
8.3 短泵浦脉冲的 SRS .....	(200)
8.3.1 脉冲传输方程 .....	(200)
8.3.2 无色散情形 .....	(201)
8.3.3 GVD 的影响 .....	(202)
8.3.4 实验结果 .....	(204)
8.3.5 同步泵浦光纤拉曼激光器 .....	(207)
8.4 SRS 中的孤子效应 .....	(208)
8.4.1 光纤拉曼孤子 .....	(208)
8.4.2 光纤拉曼孤子激光器 .....	(211)
8.4.3 孤子效应脉冲压缩 .....	(212)
8.5 四波混频的影响 .....	(213)
习题 .....	(214)
参考文献 .....	(215)
<b>第 9 章 受激布里渊散射</b> .....	(222)
9.1 基本概念 .....	(223)
9.1.1 SBS 的物理过程 .....	(223)
9.1.2 布里渊增益谱 .....	(223)
9.2 准连续波 SBS 过程 .....	(225)
9.2.1 耦合强度方程 .....	(225)
9.2.2 布里渊阈值 .....	(226)
9.2.3 增益饱和 .....	(226)
9.2.4 实验结果 .....	(228)
9.3 动态特性 .....	(230)
9.3.1 耦合振幅方程 .....	(230)
9.3.2 弛豫振荡 .....	(231)
9.3.3 调制不稳定性 .....	(232)
9.3.4 瞬态区域 .....	(233)
9.4 光纤布里渊激光器 .....	(234)
9.4.1 CW 运转方式 .....	(235)

9.4.2 脉冲运转方式 .....	(236)
9.5 SBS 的应用 .....	(238)
9.5.1 光纤布里渊放大器 .....	(238)
9.5.2 光纤传感器 .....	(239)
习题 .....	(240)
参考文献 .....	(240)
<b>第 10 章 参量过程</b> .....	<b>(244)</b>
10.1 四波混频的起源 .....	(245)
10.2 四波混频理论 .....	(246)
10.2.1 耦合振幅方程 .....	(246)
10.2.2 耦合振幅方程的近似解 .....	(247)
10.2.3 相位匹配效应 .....	(248)
10.2.4 超快四波混频过程 .....	(249)
10.3 相位匹配技术 .....	(250)
10.3.1 物理机制 .....	(250)
10.3.2 多模光纤中的相位匹配 .....	(251)
10.3.3 单模光纤中的相位匹配 .....	(253)
10.3.4 双折射光纤中的相位匹配 .....	(256)
10.4 参量放大 .....	(258)
10.4.1 放大器增益和带宽 .....	(258)
10.4.2 泵浦损耗 .....	(259)
10.4.3 参量放大器 .....	(260)
10.4.4 参量振荡器 .....	(261)
10.5 FWM 的应用 .....	(262)
10.5.1 波长变换 .....	(262)
10.5.2 相位共轭 .....	(263)
10.5.3 压缩态 .....	(264)
10.5.4 超连续谱的产生 .....	(266)
10.6 二次谐波的产生 .....	(267)
10.6.1 实验结果 .....	(267)
10.6.2 物理机制 .....	(268)
10.6.3 简单理论 .....	(269)
10.6.4 准相位匹配技术 .....	(272)
习题 .....	(272)
参考文献 .....	(273)

## 下篇 应用篇

<b>第 1 章 光纤光栅</b> .....	<b>(281)</b>
1.1 基本概念 .....	(282)



1.1.1	布拉格衍射 .....	(282)
1.1.2	光敏性 .....	(283)
1.2	制作技术 .....	(283)
1.2.1	驻波法 .....	(284)
1.2.2	全息相干法 .....	(284)
1.2.3	相位掩膜技术 .....	(285)
1.2.4	逐点写入技术 .....	(286)
1.3	光栅特性 .....	(287)
1.3.1	耦合模方程 .....	(287)
1.3.2	线性情况下连续波的解 .....	(288)
1.3.3	光子带隙(禁带) .....	(289)
1.3.4	光栅滤波器 .....	(290)
1.3.5	实验验证 .....	(292)
1.4	连续波的非线性效应 .....	(293)
1.4.1	非线性色散曲线 .....	(294)
1.4.2	光学双稳态 .....	(295)
1.5	调制的不稳定性 .....	(297)
1.5.1	线性稳定性分析 .....	(297)
1.5.2	有效 NLS 方程 .....	(298)
1.5.3	实验结论 .....	(299)
1.6	非线性脉冲传播 .....	(300)
1.6.1	布拉格孤子 .....	(300)
1.6.2	NLS 孤子 .....	(301)
1.6.3	布拉格孤子的形成 .....	(302)
1.6.4	非线性开关 .....	(304)
1.6.5	双折射效应 .....	(305)
1.7	周期相关结构 .....	(306)
1.7.1	长周期光栅 .....	(306)
1.7.2	非均匀布拉格光栅 .....	(308)
1.7.3	光子晶体光纤 .....	(310)
	习题 .....	(311)
	参考文献 .....	(312)
<b>第 2 章</b>	<b>光纤耦合器</b> .....	<b>(317)</b>
2.1	耦合器特性 .....	(318)
2.1.1	耦合模方程 .....	(318)
2.1.2	低能量光束 .....	(320)
2.1.3	线性脉冲开关 .....	(322)
2.2	非线性效应 .....	(323)
2.2.1	准连续开关 .....	(323)