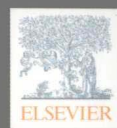
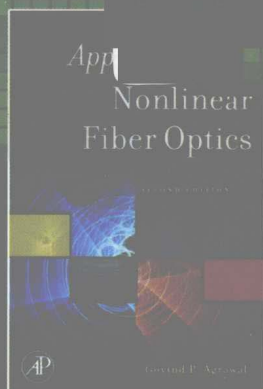
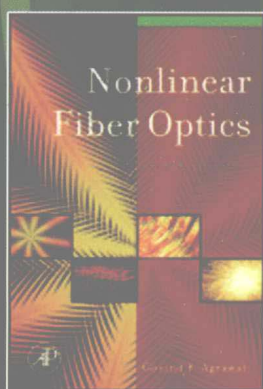


国外电子与通信教材系列



非线性光纤光学 原理及应用 (第二版)

Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition &
Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition



[美] Govind P. Agrawal 著
贾东方 余震虹 等译
李世忱 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://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

(第二版)

Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition &
Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition

電子工業出版社

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，很难想象还会有更好的替代者。本书是光学、光子学和光纤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、光孤子、偏振效应、交叉相位调制、受激喇曼散射、受激布里渊散射、四波混频、高非线性光纤和新型非线性现象等内容，科学归纳为非线性光纤光学，侧重于基本概念和原理。应用篇包括光纤光栅、光纤耦合器、光纤干涉仪、光纤放大器和光纤激光器、光脉冲压缩、光纤通信、光学信号处理、高非线性光纤和量子应用，体现了非线性光纤光学在光波技术、光纤通信等领域中的应用。

全书理论严谨，处处结合实际例证，特别是紧密结合了光纤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，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、非线性光学的科学家也是一本非常有用的参考书。

Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition

Govind P. Agrawal

ISBN: 978-0-12-369516-1

Copyright © 2007 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-421-2

Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition

Govind P. Agrawal

ISBN: 978-0-12-374302-2

Copyright © 2009 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-422-9

Copyright © 2010 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by Publishing House of Electronics Industry under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

This edition is authorized for sale in Mainland of China. Unauthorized export of this edition is a violation of Copyright Act.

Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字版专有出版权由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd 授予电子工业出版社，仅限在中国大陆出版发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 公司防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2009-3608

图书在版编目 (CIP) 数据

非线性光纤光学原理及应用：第 2 版 / (美) 阿戈沃 (Agrawal, G. P.) 著；贾东方等译。

北京：电子工业出版社，2010.6

(国外电子与通信教材系列)

书名原文：Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition & Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition

ISBN 978-7-121-10833-4

I. ①非… II. ①阿… ②贾… III. ①光纤通信-非线性光学-研究生-教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 083712 号

策划编辑：马 岚

责任编辑：马 岚 特约编辑：梁卫红 马爱文

印 刷：北京市天竺颖华印刷厂

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

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：47.5 字数：1277 千字

印 次：2010 年 6 月第 1 次印刷

定 价：95.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题，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 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

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 and 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、南京邮电大学、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、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通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、博士生导师
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分委员会委员 清华大学深圳研究生院副院长
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	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
	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分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、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 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、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分委员会副主任委员
	朱世华	西安交通大学副校长、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分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 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、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	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兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

Forward

It is with pleasure that I write this forward for the Chinese translation of my two books on fundamentals and applications of Nonlinear Fiber Optics published in 2007 and 2008 by Academic Press, Elsevier. The first part, devoted to fundamentals aspects of Nonlinear Fiber Optics, has been expanded considerably from its previous editions. It contains two new chapters devoted to highly nonlinear fibers and supercontinuum generation.

The second part of this book was published in English in 2008 as a separate book entitled “*Applications of Nonlinear Fiber Optics*.” As the name indicates, it deals with the applications and uses the fundamental concepts developed in the first part. This part has also been expanded considerably from its previous 2001 edition.

The Optical Communication Group of Tianjin University is to be commended for undertaking this project and finishing it in a timely fashion. The same group translated the previous editions of my books published in 2001. I visited several universities in Beijing and Chengdu during my China trip in 2007. I learned during that trip that Chinese translation has been well received by both the Chinese scientists and students. This is certainly a reflection of the quality of the translation. I am confident that the new translation will preserve the quality and will be liked by everyone as much as the previous edition.

I am pleased that my work is available to a wide audience in China, and I thank the translators and the Chinese publisher for making this possible. Thanks are also due to the U. S. Publisher, Academic Press, for granting the permission for this translation.



Govind P. Agrawal
Rochester, New York, USA
December 2009

中文版序译文

很高兴为我的两本书的中译本的出版作序。这两本书的最新英文版本,即 *Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition* 和 *Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition*, 由 Academic 出版社分别于 2007 年和 2008 年出版。本书原理篇主要介绍非线性光纤光学的基本原理,与前一版相比,除了新增第 11 章高非线性光纤和第 12 章新型非线性现象外,对其他章节的内容也做了很多扩充。本书应用篇主要利用原理篇的基本概念和原理,处理非线性光纤光学的实际应用问题,其英文版单独成册出版。与 2001 年出版的第一版相比,除了新增第 8 章光学信号处理、第 9 章高非线性光纤和第 10 章量子应用外,对其他章节的内容也做了很大的扩充。

天津大学光通信研究室的师生授权承接了这两本书的中文翻译工作,并圆满完成了任务。该研究组于 2002 年分别翻译了 *Nonlinear Fiber Optics, Third Edition* 和 *Applications of Nonlinear Fiber Optics*, 两本书合称为《非线性光纤光学原理及应用》,并由电子工业出版社出版。2007 年,我曾到访过中国,并参观了北京和成都的几所大学,得知这本书自出版以来,已为中国广大科技人员和高校师生广泛接受和喜爱。这充分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。

由于中译本的出版,我的著作在中国将有更多的读者,我感到很高兴。在此要感谢译者和电子工业出版社为此所做的努力,同时还要感谢美国的 Academic 出版社对翻译工作的许可。

Govind P. Agrawal
Rochester, New York, USA
December 2009

译者序

随着光纤通信系统向超高速、超大容量、超长距离的持续发展,以及光孤子通信系统的实用化,光纤非线性光学的重要性日益突出。光通信技术的发展史在很大程度上就是光纤非线性理论与技术的发展史。特别是2000年以来,以光子晶体光纤为代表的高非线性光纤和大模场面积光纤的出现,将光纤非线性效应的利用和抑制推到一个新的高度。除了在光纤通信领域的广泛应用外,非线性光纤光学在光学相干层析、高精度频率计量等领域中也得到应用。

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姊妹篇 *Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition* 和 *Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition* 合在一起译成《非线性光纤光学原理及应用(第二版)》。其中,前者作为原理篇,后者作为应用篇。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进行了科学归纳与剖析,把光纤对光脉冲的响应特性说清了,也讲透了。原理篇包括光传输方程、群速度色散、自相位调制、光孤子、偏振效应、交叉相位调制、受激喇曼散射、受激布里渊散射、光参量过程、高非线性光纤、新型非线性现象等内容,侧重于基本概念和原理。应用篇针对构建光纤通信传输系统的光纤光栅、光纤耦合器、光纤干涉仪、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和光纤通信系统,分章论述,最后以光学信号处理、高非线性光纤和量子应用这三章作为总结,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1992年翻译了作者1989年所著的 *Nonlinear Fiber Optics*,由胡国绛和黄超译,李世忱审校。在此基础上,1999年余震虹、宋立军和王泰立翻译了作者1995年所著的 *Nonlinear Fiber Optics, Second Edition*,但并未通过出版社出版发行。2002年我们翻译了 *Nonlinear Fiber Optics, Third Edition* 和 *Applications of Nonlinear Fiber Optics*,两书合并为《非线性光纤光学原理及应用》并由电子工业出版社出版,贾东方、余震虹、谈斌和胡智勇译,李世忱审校。*Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition* 与前一版相比,除新增高非线性光纤、新型非线性效应这两章之外,几乎各章节都有所修订,尤以第8章至第10章更新的内容较多;*Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition* 与前一版相比,除新增光学信号处理、高非线性光纤和量子应用这三章外,几乎各章节也都有所修订,尤以第7章和第8章更新得较多。新版本的翻译工作同样由天津大学光电子技术二室组织,上册由贾东方和余震虹主译;下册由贾东方、王肇颖和杨天新主译,葛春风、刘洋、李亚滨、庞松涛、郭以平参与了翻译工作。全书由李世忱和贾东方审校统稿。

在本书的翻译过程中,对于一些涉及人名的术语的翻译,主要是根据本专业和业内人士的常用术语习惯来翻译的,如将 Raman 译成“喇曼”而不是“拉曼”,将 Michelson 译成“迈克尔逊”而不是“迈克耳孙”,将 Sagnac 译成“萨格纳克”而不是“萨奈克”,将 Poincaré 译成“邦加”而不是“庞加莱”,特此说明。

感谢 G. P. Agrawal 教授对中文译本出版方面给予的合作。感谢电子工业出版社对翻译工作的大力支持,特别要衷心感谢本书的策划编辑马岚,没有她的帮助和辛勤付出,本书将难以顺利出版。由于译者学识所限,难免有疏漏乃至错误之处,恳请广大读者及专家不吝赐教,提出修改意见,我们将不胜感激。

前 言

自 1989 年 *Nonlinear Fiber Optics* 问世以来,非线性光纤光学一直是一个活跃的研究领域,并得到持续快速发展。20 世纪 90 年代,推动这种惊人发展的一个主要因素是通过在石英光纤中掺入像铒、镱之类的稀土离子制成的光纤放大器和光纤激光器的出现。掺铒光纤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从光纤的非线性效应中产生的。由于光放大器能补偿光信号在传输过程中遇到的所有损耗,因此可以使传输距离超过数千千米。同时,光纤放大器使波分复用(WDM)成为可能,于是导致了容量超过 1 Tbps 的光波系统的发展。非线性光纤光学在设计这种大容量光波系统的过程中起了重要作用。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几乎是一个先决条件。

大约从 2000 年起,非线性光纤光学领域得到新的发展,并在近年来导致许多新型的应用。几种新型光纤,如微结构光纤、空心光纤和光子晶体光纤被开发出来,它们的共同特征是其相对细的纤芯被包含大量空气孔的包层环绕着。这类光纤被归为高非线性光纤,即使光纤长度只有几厘米,也能够观察到其中的非线性效应。与通信用的传统光纤相比,高非线性光纤的色散特性也有很大的不同。由于这些改变,微结构光纤表现出许多奇异的非线性效应,在光学相干层析、高精度频率度量等领域中得到应用。

2007 年出版的 *Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition* 旨在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。除保留了前一版中的大部分内容外,还试图包括非线性光纤光学所有相关课题的最新研究成果,这一宏伟目标使本书内容增加了许多。为包含最新的研究进展,新增了第 11 章和第 12 章,其中第 11 章介绍高非线性光纤的特性,第 12 章介绍自 2000 年以来在高非线性光纤中观察到的各种新型的非线性效应。尽管所有其他章节都得到了更新,但第 8 章至第 10 章更新得更多,因为它们涵盖了相关研究领域的最新进展。例如,对于受激喇曼散射和四波混频而言,偏振问题变得日益重要,因此需要在第 8 章和第 10 章中详细讨论。学生在非线性光纤光学这门课程中也很有必要学习偏振效应。

Nonlinear Fiber Optics 主要涉及这一令人激动的领域的基础知识。自 2001 年来,非线性光纤光学的应用主要在本书的姊妹篇 *Applications of Nonlinear Fiber Optics* 中介绍。随着高非线性光纤的出现,非线性光纤光学应用的深度和广度不断增加,需要重新进行修订。基于此, *Applications of Nonlinear Fiber Optics, Second Edition* 于 2008 年应运而生。该版本保留了第一版中的大部分内容,同时为了包含近 7 年来最新的研究成果,对相关内容进行了较大的扩充。本书前三章介绍三种重要的光纤光学器件,即光纤光栅、光纤耦合器和光纤干涉仪,它们共同构成了光波技术的基石。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。第 7 章和第 8 章的内容进行了较大的扩充,目的是将更新的研究成果包括在内。其中,第 7 章主要介绍光纤通信系统,第 8 章则关注利用光纤中的非线性效应实现的超快信号处理技术。第 9 章和第 10 章全部是新内容,其中第 9 章介绍高非线性光纤在激光波长调谐、非线性光谱学、生物医学成像及光频率度量中的应用,第 10 章介绍非线性光纤光学在利用量子力学效应的一些新兴技术中的应用,包括量子纠缠、量子计算和量子通信。

这两本书的最新修订版不仅能很好地满足光纤、电信和激光专业的高年级本科生、攻读硕

士和博士学位的研究生、工程师和技术人员的需要,同时对从事光纤光学和光通信研究的科学家也非常有用。另外,该书在每章的最后都提供了一定数量的习题,使之更适宜作为教材使用。一些大学已将其作为研究生和高年级本科生的非线性光纤光学课程的教科书,以及非线性光学、光纤光学或光通信课程的参考书。

我要感谢对这两本书的完成做出直接或间接贡献的所有人,特别是我的研究生,是他们的好奇心和求知欲使本书在几方面得到了改进。我的一些同事对这两本书的出版也给予了不少帮助,特别是 F. Omenetto, Q. Lin, F. Yaman, J. H. Eberly 教授, A. N. Pinto 教授和 S. Lukishova 博士,他们不但阅读了手稿,而且还提出了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,他们给我反馈了一些有用的信息。最后,我还要感谢我的妻子 Anne, 女儿 Sipra, Caroline 和 Claire, 感谢她们对我的工作的理解和支持。

目 录

原 理 篇

第 1 章 导论	3	第 5 章 光孤子	91
1.1 历史的回顾	3	5.1 调制不稳定性	91
1.2 光纤的基本特性	4	5.2 光孤子	97
1.3 光纤非线性	11	5.3 其他类型的孤子	105
1.4 综述	14	5.4 孤子微扰	109
习题	16	5.5 高阶效应	117
参考文献	16	习题	127
第 2 章 脉冲在光纤中的传输	20	参考文献	127
2.1 麦克斯韦方程组	20	第 6 章 偏振效应	134
2.2 光纤模式	22	6.1 非线性双折射	134
2.3 脉冲传输方程	25	6.2 非线性相移	138
2.4 数值方法	32	6.3 偏振态的演化	143
习题	36	6.4 矢量调制不稳定性	149
参考文献	36	6.5 双折射和孤子	155
第 3 章 群速度色散	40	6.6 随机双折射	160
3.1 不同的传输区	40	习题	166
3.2 色散感应的脉冲展宽	41	参考文献	166
3.3 三阶色散	48	第 7 章 交叉相位调制	170
3.4 色散管理	55	7.1 交叉相位调制感应的	
习题	58	非线性耦合	170
参考文献	59	7.2 XPM 感应的调制不稳定性	172
第 4 章 自相位调制	61	7.3 XPM 配对孤子	175
4.1 自相位调制感应频谱变化	61	7.4 频域和时域效应	179
4.2 群速度色散的影响	68	7.5 XPM 的应用	186
4.3 半解析方法	77	7.6 偏振效应	190
4.4 高阶非线性效应	81	7.7 双折射光纤中的 XPM 效应	198
习题	87	习题	201
参考文献	87	参考文献	202

第 8 章 受激喇曼散射	205	10.5 偏振效应	298
8.1 基本概念	205	10.6 FWM 的应用	306
8.2 准连续受激喇曼散射	211	习题	311
8.3 短泵浦脉冲的 SRS	219	参考文献	311
8.4 孤子效应	228	第 11 章 高非线性光纤	316
8.5 偏振效应	234	11.1 非线性参量	316
习题	239	11.2 石英包层光纤	323
参考文献	240	11.3 空气包层锥形光纤	324
第 9 章 受激布里渊散射	245	11.4 微结构光纤	327
9.1 基本概念	245	11.5 非石英光纤	330
9.2 准连续 SBS	248	习题	333
9.3 光纤布里渊放大器	253	参考文献	334
9.4 SBS 动力学	256	第 12 章 新型非线性现象	337
9.5 光纤布里渊激光器	265	12.1 脉冲内喇曼散射	337
习题	269	12.2 四波混频	345
参考文献	269	12.3 超连续谱产生	349
第 10 章 四波混频	274	12.4 时域和频域演化	354
10.1 四波混频的起源	274	12.5 谐波产生	368
10.2 四波混频理论	276	习题	375
10.3 相位匹配技术	280	参考文献	376
10.4 参量放大	288		

应 用 篇

第 1 章 光纤光栅	385	2.2 非线性效应	427
1.1 基本概念	385	2.3 超短脉冲传输	434
1.2 制作技术	387	2.4 其他类型的耦合器	441
1.3 光栅特性	391	2.5 多芯光纤	447
1.4 连续波的非线性效应	398	习题	451
1.5 调制不稳定性	401	参考文献	451
1.6 非线性脉冲传输	404	第 3 章 光纤干涉仪	456
1.7 相关周期结构	411	3.1 法布里-珀罗谐振腔和环形 谐振腔	456
习题	417	3.2 萨格纳克干涉仪	463
参考文献	417	3.3 马赫-曾德尔干涉仪	470
第 2 章 光纤耦合器	422	3.4 迈克尔逊干涉仪	473
2.1 耦合器特性	422		

习题	474	7.2 光纤非线性的影响	603
参考文献	475	7.3 光纤中的孤子	615
第 4 章 光纤放大器	479	7.4 准线性光波系统	625
4.1 基本概念	479	习题	629
4.2 掺铒光纤放大器	483	参考文献	630
4.3 色散和非线性效应	488	第 8 章 光学信号处理	635
4.4 调制不稳定性	490	8.1 波长变换	635
4.5 光孤子	494	8.2 超快光开关	643
4.6 脉冲放大	498	8.3 时域光开关的应用	649
4.7 光纤喇曼放大器	506	8.4 光再生器	655
习题	509	习题	664
参考文献	509	参考文献	665
第 5 章 光纤激光器	514	第 9 章 高非线性光纤	670
5.1 基本概念	514	9.1 微结构光纤	670
5.2 连续光纤激光器	518	9.2 波长位移与调谐	674
5.3 短脉冲光纤激光器	526	9.3 超连续谱产生	682
5.4 被动锁模	535	9.4 光子带隙光纤	694
5.5 光纤非线性和色散的作用	547	习题	699
习题	553	参考文献	700
参考文献	554	第 10 章 量子应用	705
第 6 章 光脉冲压缩	561	10.1 脉冲传输的量子理论	705
6.1 物理机制	561	10.2 量子噪声的压缩	710
6.2 光栅-光纤压缩器	562	10.3 量子非破坏性方案	720
6.3 孤子效应压缩器	570	10.4 量子纠缠	722
6.4 光纤布拉格光栅	575	10.5 量子密码学	731
6.5 啁啾脉冲放大	579	习题	733
6.6 色散管理光纤	582	参考文献	733
6.7 其他压缩技术	587	附录 A 单位制	737
习题	593	附录 B 缩写词	739
参考文献	594	附录 C 非线性薛定谔方程的 数值代码	741
第 7 章 光纤通信	600		
7.1 系统基础知识	600		

原 理 篇

-
- | | | | |
|-------|-----------|--------|---------|
| 第 1 章 | 导论 | 第 7 章 | 交叉相位调制 |
| 第 2 章 | 脉冲在光纤中的传输 | 第 8 章 | 受激喇曼散射 |
| 第 3 章 | 群速度色散 | 第 9 章 | 受激布里渊散射 |
| 第 4 章 | 自相位调制 | 第 10 章 | 四波混频 |
| 第 5 章 | 光孤子 | 第 11 章 | 高非线性光纤 |
| 第 6 章 | 偏振效应 | 第 12 章 | 新型非线性现象 |

第 1 章 导 论

本章将对光纤的特性进行综述,这对于理解后面各章讨论的非线性效应是很重要的。

- 1.1 节 简要回顾光纤光学领域内取得的进展。
- 1.2 节 讨论诸如光损耗、色散、双折射等光纤的基本特性。由于光纤的色散特性在利用超短光脉冲探索非线性效应的研究中的重要性,故对其给予了特别的重视。
- 1.3 节 简单介绍由折射率的强度相关性和受激非弹性散射引起的各种非线性效应,在这些非线性效应中,利用光纤作为非线性介质,对自相位调制、交叉相位调制、四波混频、受激喇曼散射、受激布里渊散射等做了广泛研究。在后面的不同章节中,将分别对每一种非线性效应进行讨论。
- 1.4 节 综述本书各章所讨论的光纤中的非线性效应及其内容安排和材料组织。

1.1 历史的回顾

早在 19 世纪,人们就已经知道全内反射现象,这是引导光在光纤中传输的基础。全内发射现象发现的背后有段有趣的历史,读者可以参考有关文献^[1]。虽然在 20 世纪 20 年代就制成了无包层的玻璃纤维^[2-4],但直到 20 世纪 50 年代,才知道使用包层能够改善光纤的特性,从而诞生了光纤光学这个领域^[5-8]。当时光纤受益于介电包层的思想并不很明显,但它却有着不寻常的历史^[1]。

20 世纪 60 年代,这一领域的发展十分迅速,当时的主要目的是利用玻璃光纤束传输图像^[9]。这些早期的光纤按现在的标准看具有很高的损耗(大于 1000 dB/km);然而这种情形到 1970 年发生了根本性的变化,与更早期的预见一致^[10],石英光纤的损耗降至 20 dB/km 以下^[11]。随着光纤制造技术的进一步发展^[12],1979 年已将 1.55 μm 波长附近的损耗降至仅 0.2 dB/km 的水平^[13],而在这一波长区域,损耗大小的限制主要来自于瑞利散射这个基本过程。

低损耗石英光纤的获得,不仅掀起了光纤通信领域的革命^[14-17],而且也促使了非线性光纤光学这个新领域的出现。早在 1972 年,就有人研究了单模光纤中的受激喇曼散射和受激布里渊散射^[18-20],这些工作促进了诸如光感应双折射、参量四波混频和自相位调制等其他非线性现象的研究^[21-25]。1973 年,有人提出了通过色散和非线性效应的互作用将会导致光纤支持类孤子脉冲这样一个重要结论^[26],后来于 1980 年在实验中观察到了光孤子^[27]并在 20 世纪 80 年代导致了超短光脉冲的产生和控制方面的一些进展^[28-32]。另一个同样重要的进展是将光纤用于光脉冲压缩和光开关^[33-40]。1987 年,利用光纤非线性效应的压缩技术已产生了 6 fs 的脉冲^[41]。一些综述文章和专著介绍了这一领域在 20 世纪 80 年代所取得的巨大进展^[42-47]。

非线性光纤光学领域在 20 世纪 90 年代继续得到发展。当在光纤中掺入稀土元素并用其制作放大器和激光器时,又增添了一个新的研究内容。尽管早在 1964 年就开始制造光纤放大器^[48],但其仅在 1987 年以后才得到快速发展^[49]。由于掺铒光纤放大器(EDFA)工作在 1.55 μm 波长附近,对光纤通信系统非常有用,因此引起了人们的极大关注^[50]。EDFA 的使用导致了多信道光波系统设计上的革命^[14-17]。2000 年以后,人们利用光纤中的两种非线性效应——受激