

国外电子与通信教材系列

光纤通信

(第三版)

Optical Fiber Communications
Third Edition

[美] Gerd Keiser 著

李玉权 崔敏 蒲涛 等译

李玉权 审校



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

光纤通信

(第三版)

Optical Fiber Communications
Third Edition

[美] Gerd Keiser 著

李玉权 崔敏 蒲涛 等译

李玉权 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本系统介绍光纤通信知识的专著。全书共分为13章,内容涉及光纤传输原理和传输特性、半导体光源和光检测器的工作原理及工作特性、数字光纤通信系统和模拟光纤通信系统、光放大器的工作原理和性能、WDM系统原理、光网络以及光纤通信系统测量。本书理论体系严谨,内容深入浅出,并且紧密联系实际,是通信工程及相关专业高年级本科生、研究生的一本好教材,也是通信工程师的一本很好的参考书。

Gerd Keiser: Optical Fiber Communications, Third Edition.

ISBN: 0-07-232101-6

Copyright © 2000 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education(Asia)Co. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号:图字:01-2001-5384

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信(第三版)/(美)凯泽(Keiser, G.)著;李玉权等译. -北京:电子工业出版社, 2002.7
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Optical Fiber Communications, Third Edition

ISBN 7-5053-7637-3

I. 光I... II. ①凯... ②李... III. 光纤通信 IV. TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第044865号

责任编辑:冯小贝

印刷者:北京冶金大业印刷有限公司

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:30.25 字数:774千字 附光盘1张

版 次:2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

定 价:47.00元(含光盘)

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 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”。

为作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 序

光纤通信是20世纪70年代问世的通信新技术,它采用光波作为信息载体,并采用光导纤维作为传输介质。这种通信方式以其巨大的可用带宽和极低的传输损耗,在问世后不久便取代了铜缆,成为有线信道最主要的传输方式。目前一个覆盖全球的光纤通信网已建立起来,光纤不仅在长途干线网、区域网中已完全取代了铜缆,而且已深入居民区、大楼、办公室乃至偏远的乡村,可以毫不夸张地说,光纤通信无处不在。随着人类社会快速进入信息化时代,人们对通信的需求与日俱增,为适应这一要求,光纤通信也在20世纪末进入了全新的发展阶段,即全光通信时代。一些新的光通信技术,如DWDM技术、相干光通信技术、光孤子通信技术已日趋成熟,在此基础上构建的DWDM光网络已进入了实用阶段。对于每一个通信工程专业的本科生和研究生,光纤通信领域的基础知识则是必备常识。我们翻译本书的目的正是要为通信工程专业和其他相近专业的本科高年级学生和研究生提供一本合适的教科书。

Gerd Keiser 编著的《光纤通信》是一本系统介绍光纤通信理论和技术的巨著,自本书第一版出版以来好评如潮,并被许多所著名大学选作教材。我们翻译的是这本书的第三版,其主要内容包括光纤传输原理和传输特性;半导体光源、光检测器的工作原理及工作特性;光信号的发送与接收;数字和模拟信号的光纤传输系统;光放大器的原理与特性;DWDM光网络以及光纤通信系统的测量技术。书中一些较为高深的推导都在带“*”号的小节中,略去带“*”的内容仍可以保持全书内容的连贯性,这样可以适应不同层次、不同起点的读者的需求。全书中有大量结合通信工程应用的例题,以帮助读者加深对所学知识的理解。每章末尾都附有大量的习题,这些习题中的一部分是为巩固已学的知识而设立的,另一部分则是为开扩学生视野、紧密联系工程实际而设立的。纵观全书,其内容系统完整、理论体系严谨,但同时又深入浅出,是一本不可多得的好教材。

本书由李玉权负责翻译前言、第1章至第5章、第13章及附录,崔敏负责翻译第6章至第9章,蒲涛负责翻译第10章至第12章,全书由李玉权审校统稿。解放军理工大学通信工程学院光纤通信教研室的博士研究生周胜军,硕士研究生邓卫华、刘杰、徐俊华、周辉、张虎城、闻传花协助完成了部分章节的翻译,周强同志完成了部分章节的文字录入工作。在此特向他们致以深切的谢意。

光纤通信涉及电磁理论、光学、半导体物理和半导体器件、通信等多学科的专业知识,由于译者学识所限,疏漏乃至错误在所难免,望读者不吝赐教。

前 言

基于光纤技术的电信网络已成为最主要的信息传输系统,无论是在陆地还是海底,都已形成了拥有巨大传输容量的光纤链路。在光纤通信发展的早期,其涉及的领域仅仅包括光纤、光源和光检测器。如今已有大量的无源光器件和有源光器件用于光波链路,以完成光域中复杂的网络功能,例如信号的恢复、路由和交换。按照循序渐进的原则,首先需要理解这些器件的功能,然后是测量器件和网络的性能,最后是建模或仿真高可靠、大容量网络的复杂行为。

本书将介绍光纤技术的基本原理,以便于理解和掌握更为完善、先进的现代电信系统。本书将循序渐进地研究单个光器件的基本特性以及它们在光纤链路中与其他器件之间的相互作用;讨论基本的模拟链路和数字光链路的特性;研究复杂光链路和光网络的性能参数。为了掌握上述领域的知识,我们列出本书的关键点:

- 全面论述各基本组成单元,例如光纤、光源、光检测器、连接和耦合器件以及光放大器;
- 数字和模拟光纤传输链路的基本设计原理;
- 波分复用(WDM)工作原理及实现WDM的必要器件;
- 连接大量用户的复杂光网络的性能参数及结构描述,这些用户有极为广泛的传输需求;
- 先进的光通信技术讨论,例如光孤子传输、光码分多址(光CDMA)以及超快光时分复用(OTDM);
- 整个一章提供测量标准、基本测试设备以及验证光纤通信器件和链路工作特性的方法;
- CD-ROM上的建模和仿真程序。

CD-ROM上的建模和仿真程序是Virtual Photonics公司提供的Photonic Transmission Design Suite®(PTDS)的缩略版。这个程序又称为PTDSlite,特别适合学生使用。学生使用CD-ROM上的软件,可以研究关键的光器件(如半导体激光器、光耦合器、光放大器和光检测器)以及由这些器件组成的基本线路的性能。软件中已事先定义了各种元件的参数,但是使用基于Windows输入方式的用户可以修改其中的任何参数(例如光纤长度),同时还可以连接或断开这些链路,以观察它们对链路性能的影响。这是一个基于Windows的程序,所以可以在任何典型的PC上运行,只要PC有足够的随机存储器(RAM)和硬盘容量。

本书可供本科高年级学生和研究生作为光纤通信技术入门课程的教材。书中包含光纤通信的理论和应用方面最基本的素材,本书也可以作为从事光纤通信系统设计的工程师的参考书。学习本书需要具备一般工程专业高年级本科生的基础知识,这包括电磁理论基础、微积分和初等微分方程、相当于本科一年级物理学教程中的光学基本概念以及电子学基本概念。在本书的主体中将简要回顾以下几方面的基础知识,主要有光学概念、电磁理论和半导体物理基础。在这个版本中,许多小节将讨论一些较为高深的课题(例如麦克斯韦方程在圆柱波导中的解法、光接收机的数学理论等),这些小节都加有星号,跳过这些带星号的小节将不会使本教程失去内容的连续性。为了便于读者学习本书并将所学知识用于实际的工程设计,本书从头至尾给出了许多例子。由266个习题构成的习题集可以帮助测验读者对本教程内容的理解程度,同时还可以扩展和加深对教程内容的理解。任课教师可从出版商那里得到这些习题的解答。

有关最新发展的信息以及与本书相关的参考资料可以在与本书有关的McGraw-Hill的Web网站上找到,即<http://www.mhhe.com/engcs/electrical/keiser/>。

物理常数及其单位

常数	符号	量值 (mks 单位制)
真空中的光速	C	$2.99793 \times 10^8 \text{ m/s}$
电子电荷量	q	$1.60218 \times 10^{-19} \text{ C}$
普朗克常数	h	$6.6256 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
玻耳兹曼常数	k_B	$1.38054 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
$T=300 \text{ K}$ 时 $k_B T/q$	—	0.02586 eV
自由空间电容率	ϵ_0	$8.8542 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
自由空间磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
电子伏特	eV	$1\text{eV}=1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$
Angstrom 单位	\AA	$1 \text{\AA}=10^{-4} \mu\text{m}=10^{-8} \text{ cm}$
自然对数的底	e	2.71828
Pi	π	3.14159

作者简介

Gerd Keiser 致力于光网络技术和数字交换技术的研发和应用已达 25 年之久，这期间他主要在 GTE Systems and Technology 公司工作。目前他的研究兴趣主要是高性能电信网络的结构设计与实现。Gerd 还在美国东北大学和 Tufts 大学电气工程专业任副教授，并且兼任 Wentworth 技术研究所的技术顾问。他是 IEEE 的会士，除本书以外，还著有“Local Area Networks”（McGraw-Hill 出版）。Gerd 先生在威斯康星大学获得数学学士学位和物理学硕士学位，在东北大学获固体物理学博士学位。

目 录

第 1 章 光纤通信总览	1
1.1 基本的网络信息速率	1
1.2 光纤光学系统的演进	4
1.3 光纤传输链路的基本单元	6
1.4 仿真与建模工具	10
1.4.1 仿真和建模工具的特征	11
1.4.2 编程语言	11
1.4.3 PTDS® 仿真和建模工具	11
1.5 本书的使用和扩展	13
1.5.1 参考资料	13
1.5.2 CD-ROM 中的仿真程序	14
1.5.3 光子学实验室	14
1.5.4 基于 Web 的资源	14
参考文献	14
第 2 章 光纤：结构、导波原理和制造	18
2.1 光的特性	18
2.1.1 线偏振	19
2.1.2 椭圆偏振和圆偏振	21
2.1.3 光的量子特性	23
2.2 基本的光学定律和定义	23
2.3 光纤模式和结构	25
2.3.1 光纤分类	25
2.3.2 射线和模式	27
2.3.3 阶跃折射率光纤结构	28
2.3.4 射线光学表述	28
2.3.5 介质平板波导中的波动解释	30
2.4 圆波导的模式理论	32
2.4.1 模式概述	32
2.4.2 对关键的模式概念的归纳	33
2.4.3 麦克斯韦方程 [*]	34
2.4.4 波导方程式 [*]	35
2.4.5 阶跃折射率光纤中的波动方程 [*]	36
2.4.6 模式方程 [*]	38
2.4.7 阶跃折射率光纤中的模式 [*]	39

2.4.8	线偏振模 [*]	42
2.4.9	阶跃折射率光纤中的功率流 [*]	45
2.5	单模光纤	47
2.5.1	模场直径	47
2.5.2	单模光纤中的传播模	48
2.6	梯度折射率光纤的结构	49
2.7	光纤材料	50
2.7.1	玻璃纤维	51
2.7.2	卤化物玻璃纤维	52
2.7.3	有源玻璃纤维	52
2.7.4	硫属化合物玻璃纤维	52
2.7.5	塑料光纤	53
2.8	光纤制造	53
2.8.1	外部汽相氧化法	54
2.8.2	汽相轴向沉积法	54
2.8.3	改进的化学汽相沉积法	56
2.8.4	等离子体活性化化学汽相沉积法	56
2.8.5	双坩埚法	56
2.9	光纤的机械特性	57
2.10	光缆	61
	习题	62
	参考文献	66
第3章	光纤中的信号劣化	71
3.1	损耗	71
3.1.1	损耗单位	71
3.1.2	吸收损耗	73
3.1.3	散射损耗	76
3.1.4	弯曲损耗	78
3.1.5	纤芯和包层损耗	80
3.2	光波导中的信号失真	81
3.2.1	信息容量的确定	81
3.2.2	群时延	83
3.2.3	材料色散	84
3.2.4	波导色散	85
3.2.5	单模光纤中的信号失真	86
3.2.6	偏振模色散	88
3.2.7	模间色散	90
3.3	梯度折射率光波导中的脉冲展宽 [*]	90
3.4	模式耦合 [*]	95
3.5	单模光纤的优化设计	96
3.5.1	折射率剖面	96

3.5.2	截止波长	98
3.5.3	色散计算	100
3.5.4	模场直径	101
3.5.5	弯曲损耗	103
习题	.....	105
参考文献	.....	108
第4章	光源	112
4.1	半导体物理学专题	112
4.1.1	能带	113
4.1.2	本征材料和非本征材料	114
4.1.3	pn 结	115
4.1.4	直接带隙和间接带隙	117
4.1.5	半导体器件的制造	118
4.2	发光二极管 (LED)	118
4.2.1	LED 的结构	118
4.2.2	光源材料	120
4.2.3	量子效率和 LED 的功率	123
4.2.4	LED 的调制	126
4.3	半导体激光器	127
4.3.1	半导体激光器的模式和阈值条件	128
4.3.2	半导体激光器的速率方程	131
4.3.3	外量子效率	133
4.3.4	谐振频率	133
4.3.5	半导体激光器结构和辐射方向图	134
4.3.6	单模激光器	138
4.3.7	半导体激光器的调制	141
4.3.8	温度特性	142
4.4	光源的线性特性	145
4.5	模式噪声、模分配噪声和反射噪声	147
4.6	可靠性考虑	149
习题	.....	152
参考文献	.....	156
第5章	光功率发射和耦合	161
5.1	光源至光纤的功率发射	161
5.1.1	光源的输出方向图	161
5.1.2	功率耦合计算	163
5.1.3	发射功率与波长的关系	166
5.1.4	稳态数值孔径	166
5.2	改善耦合的透镜结构	167
5.2.1	非成像微球	168

5.2.2	半导体激光器与光纤的耦合	169
5.3	光纤与光纤的连接	170
5.3.1	机械对准误差	172
5.3.2	光纤相关损耗	177
5.3.3	光纤端面制备	178
5.4	LED与单模光纤的耦合	179
5.5	光纤连接	180
5.5.1	连接方法	180
5.5.2	单模光纤的连接	181
5.6	光纤连接器	182
5.6.1	连接器的类型	183
5.6.2	单模光纤连接器	184
5.6.3	连接器回波损耗	184
	习题	186
	参考文献	189
第6章	光检测器	193
6.1	光电二极管的物理原理	193
6.1.1	pin 光电二极管	193
6.1.2	雪崩光电二极管	197
6.2	光检测器噪声	200
6.2.1	噪声源	201
6.2.2	信噪比	204
6.3	检测器响应时间	204
6.3.1	耗尽层光电流	204
6.3.2	响应时间	206
6.4	雪崩倍增噪声	208
6.5	InGaAs APD 结构	210
6.6	温度对雪崩增益的影响	211
6.7	光检测器的比较	212
	习题	213
	参考文献	216
第7章	光接收机	219
7.1	接收机工作的基本原理	219
7.1.1	数字信号传输	219
7.1.2	误码源	220
7.1.3	接收机结构	222
7.1.4	傅里叶变换表示*	223
7.2	数字接收机性能	224
7.2.1	误码概率	224
7.2.2	量子极限	229

7.3	接收机性能的详细计算 [*]	230
7.3.1	接收机噪声 [*]	230
7.3.2	散弹噪声 [*]	231
7.3.3	接收机灵敏度计算 [*]	232
7.3.4	性能曲线 [*]	237
7.3.5	非零消光比 [*]	243
7.4	前置放大器的类型 [*]	244
7.4.1	高阻抗 FET 放大器 [*]	245
7.4.2	高阻抗双极晶体管放大器 [*]	246
7.4.3	互阻抗放大器 [*]	248
7.4.4	高速电路	249
7.5	模拟接收机	249
	习题	252
	参考文献	256
第 8 章	数字传输系统	259
8.1	点到点链路	259
8.1.1	系统考虑	260
8.1.2	链路的功率预算	261
8.1.3	展宽时间预算	264
8.1.4	第一窗口传输距离	267
8.1.5	单模光纤链路的传输距离	268
8.2	线路编码	269
8.2.1	NRZ 码	270
8.2.2	RZ 码	271
8.2.3	分组码	272
8.3	纠错	272
8.4	噪声对系统性能的影响	274
8.4.1	模式噪声	274
8.4.2	模分配噪声	276
8.4.3	啁啾	278
8.4.4	反射噪声	280
	习题	282
	参考文献	285
第 9 章	模拟系统	288
9.1	模拟链路概述	288
9.2	载噪比	289
9.2.1	载波功率	289
9.2.2	光检测器和前置放大器的噪声	290
9.2.3	相对强度噪声 (RIN)	291
9.2.4	反射对 RIN 的影响	293

9.2.5 极限条件	293
9.3 多信道传输技术	294
9.3.1 多信道幅度调制	295
9.3.2 多信道频率调制	297
9.3.3 副载波复用	300
习题	301
参考文献	303
第 10 章 WDM 概念和器件	305
10.1 WDM 的工作原理	305
10.2 无源器件	307
10.2.1 2 × 2 光纤耦合器	308
10.2.2 散射矩阵表示法	311
10.2.3 2 × 2 波导耦合器	313
10.2.4 星形耦合器	315
10.2.5 马赫-曾德尔干涉仪复用器	317
10.2.6 光纤光栅滤波器	320
10.2.7 基于相位阵列的 WDM 器件	323
10.3 可调谐光源	325
10.4 可调谐滤波器	328
10.4.1 系统考虑	328
10.4.2 可调谐滤波器的类型	329
习题	331
参考文献	336
第 11 章 光放大器	340
11.1 光放大器的基本应用和类型	340
11.1.1 一般应用	340
11.1.2 放大器的类型	341
11.2 半导体光放大器	342
11.2.1 外泵浦	342
11.2.2 放大器增益	344
11.3 掺铒光纤放大器	346
11.3.1 放大机制	346
11.3.2 EDFA 的结构	348
11.3.3 EDFA 的功率转换效率及增益	348
11.4 放大器噪声	351
11.5 系统应用	354
11.5.1 功率放大器	354
11.5.2 在线放大器	355
11.5.3 前置放大器	356
11.5.4 多信道运用	357

11.5.5	在线放大器增益控制	358
11.6	波长变换器	359
11.6.1	光栅波长变换器	359
11.6.2	光波混合波长变换器	360
	习题	361
	参考文献	365
第 12 章	光网络	368
12.1	基本网络	368
12.1.1	网络拓扑	369
12.1.2	无源线形总线的性能	369
12.1.3	星形结构的性能	374
12.2	SONET/SDH	375
12.2.1	传输格式和速率	375
12.2.2	光接口	377
12.2.3	SONET/SDH 环	379
12.2.4	SONET/SDH 网络	381
12.3	广播选择 WDM 网络	383
12.3.1	广播选择单跳网	383
12.3.2	广播选择多跳网	384
12.3.3	洗牌网多跳网	384
12.4	波长路由网	386
12.4.1	光交叉连接	387
12.4.2	波长变换器的性能评估	388
12.5	非线性对网络性能的影响	391
12.5.1	有效长度与面积	392
12.5.2	受激拉曼散射	392
12.5.3	受激布里渊散射	394
12.5.4	自相位调制和交叉相位调制	396
12.5.5	四波混频	397
12.5.6	色散管理	400
12.6	WDM+EDFA 系统的性能	400
12.6.1	链路带宽	401
12.6.2	特定 BER 所需的光功率	401
12.6.3	串扰	401
12.7	孤子	403
12.7.1	孤子脉冲	404
12.7.2	孤子参数	406
12.7.3	孤子宽度和间隔	408
12.8	光 CDMA	410
12.9	超高容量网络	411
12.9.1	超大容量 WDM 系统	412

12.9.2	比特间插光 TDM	412
12.9.3	时隙光 TDM	412
习题	.....	414
参考文献	.....	419
第 13 章	测量	426
13.1	测量标准和测试过程	427
13.2	测试设备	428
13.2.1	光功率计	428
13.2.2	光衰减器	429
13.2.3	可调谐激光器	429
13.2.4	光谱分析仪	430
13.2.5	光时域反射仪	430
13.2.6	多功能光测试系统	431
13.3	损耗测量	432
13.3.1	截断法	432
13.3.2	插入损耗法	433
13.4	色散的测量	434
13.4.1	模间色散	434
13.4.2	模间色散的时域测量	435
13.4.3	模间色散的频域测量	436
13.4.4	色度色散	436
13.4.5	偏振模色散	437
13.5	OTDR 的场地应用	438
13.5.1	OTDR 轨迹	439
13.5.2	损耗测量	440
13.5.3	光纤故障定位	440
13.6	眼图	441
13.7	光谱分析仪的应用	444
13.7.1	光源特性	444
13.7.2	EDFA 增益与噪声系数的测试	446
习题	.....	448
参考文献	.....	451
附录 A	国际单位制	454
附录 B	常用的数学关系	455
附录 C	贝塞尔函数	458
附录 D	分贝	461
附录 E	通信理论专题	463
附录 F	色散因子	465