



普通高等教育“十二五”规划教材
信息与电子技术类系列教材

现代光纤通信技术

(第二版)

韩一石 强则煊 编著
许国良 许 鸥 谭艺枝



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

信息与电子技术类系列教材

现代光纤通信技术

(第二版)

韩一石 强则煊 编著
许国良 许 鸥 谭艺枝

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从基本知识出发,循序渐进地对光纤通信系统的基本原理、基本技术和系统设计方法予以较全面、系统的介绍,同时兼顾了现代光纤通信的主流应用技术和发展方向,力求使读者从整体上了解光纤通信基本理论和技术应用情况。全书以概念、系统和技术应用为重点,尽量少用繁杂的数学推导,同时考虑到大学生毕业后参加工作或进入研究生和科研阶段时的实际动手能力的需求,本书力求将基本理论与实践环节紧密结合,在大部分章节都安排了相应器件、设备、系统的测试内容。

本书可作为通信专业、光电子、光学专业以及相关专业的本科生教材或研究生的教学辅导书,也可供从事光通信专业工作的科研和技术人员参考。

本书配有电子教案,读者可在 www.abook.cn 网站上免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

现代光纤通信技术/韩一石等编著. —2版. —北京:科学出版社, 2015
(普通高等教育“十二五”规划教材·信息与电子技术类系列教材)
ISBN 978-7-03-035209-5

I. ①现… II. ①韩… III. ①光纤通信-高等学校-教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 172099 号

责任编辑:陈晓萍 隽青龙/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年2月第 二 版 开本:787×1092 1/16

2015年2月第一次印刷 印张:17

字数:381 000

定价:34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新科〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135793-2009

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

普通高等教育“十二五”规划教材

信息与电子技术类系列教材

编 委 会

主 任 吴黎明 (广东工业大学)

副主任 贺前华 (华南理工大学)

委 员 (按姓氏笔画排序)

马文华 (广东外语外贸大学)

汤 庸 (华南师范大学)

杨振野 (广东技术师范学院)

洪添胜 (华南农业大学)

徐 杜 (广东工业大学)

曹建忠 (惠州学院)

曾 辉 (嘉应学院)

谢仕义 (广东海洋大学)

廖惜春 (五邑大学)

颜国政 (上海交通大学)

第 二 版 前 言

光纤通信是以激光为信号载体,以光纤为传输介质进行的通信。光纤通信的诞生与发展是电信史上的一次重要革命,随着技术的进步,特别是IP业务的爆炸式发展所带来的对带宽的巨大需求,其发展速度不仅超过了由摩尔定律所限定的交换机和路由器的发展速度,而且也超过了数据业务的增长速度,成为近几年来发展最快的技术,相关新兴的技术和新型的器件层出不穷。

为了满足社会的需求,目前许多高校纷纷开设有关光纤通信的课程。本书正是为了适应这种发展趋势而写。全书从基本知识出发,抓住光纤通信技术发展的精髓——提高光纤通信系统容量,循序渐进地对光纤通信系统的基本原理、基本技术和器件发展及系统设计方法予以较全面、系统的介绍,同时兼顾了现代光纤通信的主流应用技术和发展方向,力求使读者从整体上了解光纤通信的基本原理和技术应用情况。

全书共9章。第1章介绍光纤通信系统的组成与特点;第2章介绍光纤的基本结构、分类、传输原理、传输特性;第3章介绍光源的发光原理、光源的调制、光检测器件的工作机理及特点,同时介绍光发送/接收机的构成和性能指标;第4章介绍常用三种光放大器(EDFA、RFA和SOA)的基本概念、基本原理,以及目前最新的一些光放大技术;第5章介绍光纤通信系统中几种常用光器件的工作原理和结构特性;第6章介绍SDH的结构组成、基本原理以及在城域光网络、光接入网中的应用;第7章介绍光波分复用、光时分复用、光码分复用技术的基本结构和工作原理;第8章介绍光纤通信系统的性能与设计方面的有关问题;第9章介绍下一代光网络概念及光传送网的发展趋势:智能光网络 and 全光网络,以及目前出现的对光纤通信形成巨大挑战的量子光通信技术。

在本书编写的过程中,编者注重将基本理论与实践环节紧密结合。书中的大部分章节都安排有相应器件、设备、系统的测试内容,一方面是为了增强读者的感性认识;另一方面,也是更重要的,是考虑到目前大学生在毕业后工作或进入研究生和科研阶段时,在光纤通信领域缺乏实际动手能力,而国内目前也很少有教材在这方面加以完整叙述,因此,本书希望在此方面有所突破。

本书主要由韩一石、强则煊、许国良、许鸥编写,谭艺枝参与了第3章的编写工作。此外,编者参考、吸取和借鉴了国内外一些有关著作、教材及科研成果,其相关文献已列在书末的“主要参考文献”中,在此一并对有关作者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 光纤通信的概念	1
1.1.1 什么是光纤通信	1
1.1.2 光纤通信系统的组成	1
1.2 光纤通信的发展历史	3
1.2.1 光纤通信的里程碑	3
1.2.2 爆炸性发展	4
1.3 现代光纤通信技术	5
1.3.1 光纤通信技术特点	5
1.3.2 现代光纤通信技术角色	6
习题与思考题	7
第 2 章 光纤	8
2.1 光纤概述	8
2.1.1 光纤的构造	8
2.1.2 光纤的分类	8
2.2 光纤的传输原理	10
2.2.1 光线理论	10
2.2.2 波动理论	13
2.3 光纤的传输特性	19
2.3.1 带宽和色散	19
2.3.2 光纤的损耗	21
2.3.3 光纤的非线性效应	22
2.4 几种常用于光纤通信系统的光纤	25
2.4.1 G. 652 光纤	25
2.4.2 G. 653 光纤	26
2.4.3 G. 655 光纤	26
习题与思考题	28
第 3 章 光发送机和光接收机	29
3.1 激光产生的物理基础	29
3.1.1 能级的跃迁	29
3.1.2 激光器的一般工作原理	31

3.2 半导体激光器和发光电二极管	33
3.2.1 半导体激光器的发光机理	33
3.2.2 半导体激光器的工作特性	38
3.2.3 半导体发光电二极管的发光机理	40
3.2.4 半导体发光电二极管的工作特性	41
3.3 几种特殊结构的半导体激光器	42
3.3.1 分布反馈 (DFB) 激光器	42
3.3.2 分布布拉格反射 (DBR) 激光器	44
3.3.3 垂直腔面发射激光器 (VCSEL)	44
3.4 光源的调制	45
3.4.1 光源的直接调制	45
3.4.2 光源的间接调制	49
3.5 光发送机	50
3.5.1 光发送机的结构组成	50
3.5.2 光发送机的主要技术指标	52
3.6 光检测器件	54
3.6.1 光纤通信对光检测器件的要求	54
3.6.2 PIN 光电二极管的工作机理	55
3.6.3 PIN 光电二极管的特性参数及特点	56
3.6.4 APD 光电二极管的工作机理	58
3.6.5 APD 光电二极管的特性参数及特点	59
3.7 光接收机	60
3.7.1 光接收机的结构组成	60
3.7.2 前置放大器	61
3.7.3 光接收机的主要技术指标	63
习题与思考题	67
第4章 光放大器与光纤激光器	68
4.1 光放大器概述	68
4.1.1 增益频谱和带宽	70
4.1.2 增益饱和度	71
4.1.3 放大器噪声	71
4.2 掺铒光纤放大器	73
4.2.1 泵浦需求	75
4.2.2 增益频谱	76
4.2.3 基本原理和基本特性	76
4.2.4 多通道放大	78
4.2.5 分布式放大器	81
4.3 光纤拉曼放大器	81

4.3.1	拉曼增益和带宽	82
4.3.2	拉曼放大器特性	83
4.3.3	拉曼放大器性能	85
4.4	半导体光放大器	85
4.4.1	放大器设计	86
4.4.2	放大器特性	87
4.4.3	系统应用	88
4.5	几种新型放大器	89
4.5.1	掺铒光纤放大器	89
4.5.2	光波导放大器	90
4.5.3	光子晶体光纤放大器	91
4.6	光纤激光器	92
4.6.1	光纤激光器基本工作机理	92
4.6.2	光纤激光器特点及分类	97
4.7	光放大器的测试	98
4.7.1	掺铒光纤放大器	99
4.7.2	光纤拉曼放大器	100
4.7.3	半导体光放大器	101
	习题与思考题	101
第5章	光器件	103
5.1	光器件概述	103
5.2	光纤光栅	104
5.2.1	光纤光栅基本工作原理	105
5.2.2	各种常见光纤光栅的特性及应用	105
5.3	光滤波器	108
5.3.1	光滤波器概述	108
5.3.2	法布里-珀罗型滤波器	109
5.3.3	马赫-曾德尔滤波器	111
5.3.4	环形谐振滤波器	113
5.4	光连接器与衰减器	114
5.4.1	光连接器	114
5.4.2	光衰减器	117
5.5	耦合器与分束器	119
5.6	复用器	121
5.6.1	衍射光栅型	122
5.6.2	DTF 型	122
5.6.3	熔锥型	123
5.6.4	集成光波导型	123

5.7 光隔离器与环形器	124
5.7.1 光隔离器	124
5.7.2 光环形器	126
5.8 光开关与光交叉连接器	126
5.8.1 光开关	126
5.8.2 光交叉连接器	129
5.9 光波长转换器	130
5.10 光器件测试	133
5.10.1 插入损耗的测量	133
5.10.2 回波损耗的测量	133
5.10.3 隔离度的测量	134
5.10.4 方向性的测量	135
5.10.5 偏振相关损耗的测量	135
习题与思考题	136
第6章 SDH 传输技术及网络	137
6.1 两种数字光纤通信系统传输系列: PDH 和 SDH	137
6.2 SDH 技术	138
6.2.1 SDH 的产生	138
6.2.2 SDH 的主要特点	139
6.2.3 SDH 的帧结构	140
6.2.4 SDH 的复用结构和步骤	141
6.2.5 SDH 的传输网结构和自愈能力	143
6.3 城域光网络	149
6.3.1 城域光网络的概念及特点	149
6.3.2 城域光网络的发展	149
6.3.3 基于 SDH 的多业务传送平台	152
6.3.4 弹性分组环技术	154
6.4 光接入网技术	155
6.4.1 光接入网的结构	155
6.4.2 光接入网的特点和传输技术	157
6.4.3 基于 SDH 的光接入网	159
6.5 SDH 光接口的测试	160
6.5.1 测试仪表	160
6.5.2 平均光发送功率的测试	161
6.5.3 消光比的测试	161
6.5.4 光源器件的谱宽和工作波长的测试	162
6.5.5 光接收机灵敏度的测试	162
6.5.6 光接收机过载光功率和动态范围的测试	163

习题与思考题	163
第 7 章 光纤通信复用技术	165
7.1 光波分复用的基本概念	165
7.1.1 基本概念	165
7.1.2 密集与稀疏	166
7.2 WDM 系统的工作原理与基本结构	167
7.2.1 WDM 系统的工作原理	167
7.2.2 WDM 系统的基本结构	170
7.3 光波分复用系统的关键技术	172
7.3.1 关键器件	172
7.3.2 波长路由	176
7.3.3 信道串扰	178
7.3.4 WDM 光信道监控和网络安全性	180
7.4 光时分复用	182
7.4.1 基本概念	182
7.4.2 超短脉冲光源	182
7.4.3 通道复用	183
7.4.4 通道解复用	184
7.4.5 OTDM 系统性能	184
7.5 光码分复用	185
7.5.1 基本概念	185
7.5.2 扩频码技术	186
7.5.3 编/解码技术	187
7.5.4 OCDM 系统性能	190
7.6 WDM 测试	190
7.6.1 WDM 的测试指标	190
7.6.2 WDM 的测试仪器和测试方法	192
习题与思考题	195
第 8 章 光纤通信系统性能与设计	196
8.1 光纤通信系统的概念	196
8.1.1 基本光纤通信系统结构	197
8.1.2 光纤传输特性对系统的影响	199
8.2 数字光纤通信系统性能及测试	201
8.2.1 数字光纤通信系统的主要性能指标	201
8.2.2 系统传输性能指标的测试	203
8.3 单通道数字光纤通信系统结构与设计	207
8.3.1 系统结构	207
8.3.2 光纤通信系统设计的总体考虑	210

8.3.3 单通道系统中继距离设计	212
8.4 多通道数字光纤通信系统设计	214
8.4.1 系统设计中应注意的问题	214
8.4.2 WDM+EDFA 系统中继距离设计	216
习题与思考题	220
第9章 光纤通信新技术	221
9.1 下一代光网络	221
9.1.1 下一代网络的基本概念	221
9.1.2 下一代网络中的光传送网	222
9.2 光交换技术	225
9.2.1 空分光交换	226
9.2.2 时分光交换	226
9.2.3 波分光交换	227
9.2.4 码分光交换	228
9.2.5 光分组交换	228
9.3 自动交换光网络	230
9.3.1 自动交换光网络的基本概念	230
9.3.2 自动交换光网络的体系结构	231
9.3.3 自动交换光网络的控制信令协议	234
9.3.4 自动交换光网络的路由	237
9.3.5 自动交换光网络的演进	239
9.4 全光网络通信	240
9.4.1 全光网络的概念及特点	240
9.4.2 全光网络的分类及结构	240
9.4.3 全光通信的关键技术	241
9.4.4 全光网管理	243
9.4.5 全光网的安全性	245
9.5 量子光通信技术	247
9.5.1 量子光通信基础	247
9.5.2 量子光通信特点	248
9.5.3 量子光通信研究进展及热点	251
习题与思考题	253
附录 光纤通信常用英文缩写及中英文对照	254
主要参考文献	260

第 1 章 概 述

● 本章提要

人们的日常生活离不开信息交换，这就是通信。本章首先介绍了光纤通信的一些基本概念，接着回顾光纤通信的发展历程，并对现代光纤通信技术做了总结。

1.1 光纤通信的概念

1.1.1 什么是光纤通信

自古以来，通信就是人们的基本需求之一，这种需求不断地促使人们开始发明能将信息从一个地方迅捷、有效地传送到另一个遥远地方的通信技术。从广义的角度来说，通信就是彼此之间传递信息。现代的通信一般是指电信。IEEE（电气和电子工程师协会）对电信的定义是借助诸如电话系统、无线电系统或电视系统这样的设备，在相隔一定距离的条件下进行的信息交换。在漫长的通信科学发展道路中，通信经历了电通信和光通信两个阶段。广义的电通信指的是一切运用电波作为载体而传送信息的所有通信方式的总称，而不管传输所使用的介质是什么。电通信又可分为有线电通信和无线电通信。类似于电通信，广义的光通信指的是一切运用光波作为载体传送信息的所有通信方式的总称，而不管传输所使用的介质是什么。光通信也可以分为利用大气进行通信的无线光通信和利用石英光纤或塑料光纤进行通信的有线光通信。人们则通常把应用石英光纤的有线光通信简称为光纤通信。

1970 年被称为光纤通信元年。经过近 40 年的迅猛发展，光纤通信已经逐步从点对点通信向多点对多点的全光高速密集波分复用系统网络推进。从宏观来看，光纤通信主要包括光纤光缆、光电子器件及光纤通信系统设备等三个部分。光电子器件包括有源器件和无源器件。有源器件包括光源（发光二极管、半导体激光器）、光电检测器（光电二极管、雪崩光电二极管）和光放大器（掺稀土光纤放大器、半导体激光放大器、光纤拉曼放大器等）以及由这些器件组成的各种模块等。无源器件包括光连接器、光耦合器、光衰减器、光隔离器、光开关和波分复用器等。同时还有光电集成（OEIC）和光子集成（PIC）器件。

1.1.2 光纤通信系统的组成

图 1.1 是典型的点对点光纤通信链路示意。其关键部分是：由光源和驱动电路组成的光发射机；将光纤包在其中以对光纤起到机械加固和保护作用的光缆；由光检测器和放大电路、信号恢复电路组成的光接收机。一些附加的元件包括光放大器、连接器、接

头盒、耦合器和再生中继器 (用于恢复信号形状的特性) 等。

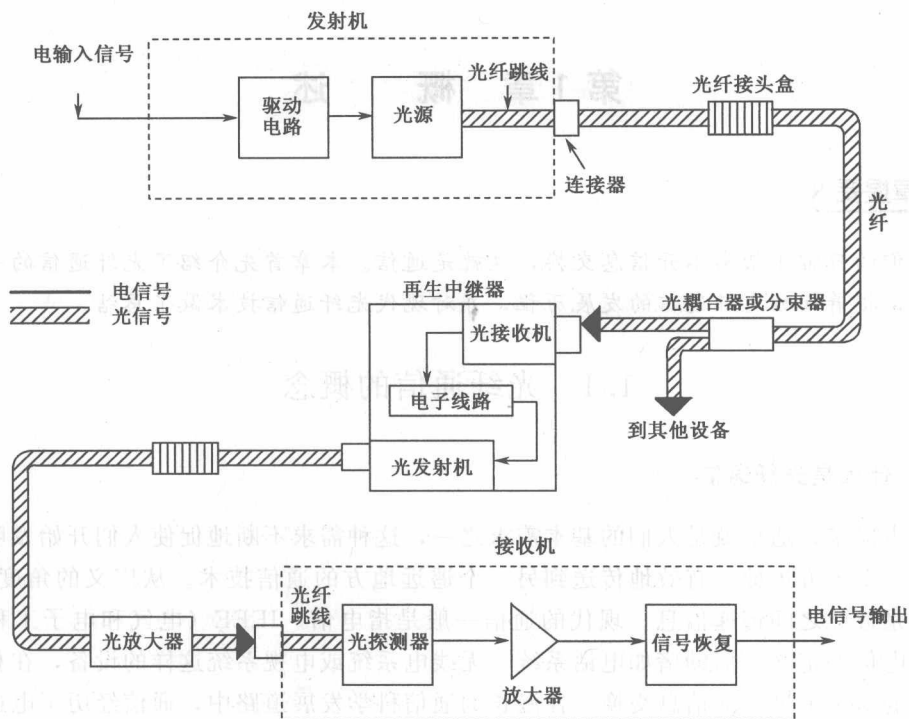


图 1.1 点对点光纤通信链路示意

从图 1.1 可以看出, 系统存在光—电、电—光的转换, 即电子“瓶颈”问题, 因而无法满足人们超高速、超宽带及动态通信要求。自从掺铒光纤放大器商用后, 波分复用 (WDM) 系统颇受人们的青睐, 构建基于 WDM 的全光通信网络是目前的发展趋势。图 1.2 是目前一个完整的 WDM 系统。其通常包含光收发器、光耦合器、光复用/解复用器、光纤放大器、光上/下分路器、光交叉连接器、光色散补偿装置、光偏振控制装置、光开关、光波长转换器以及其他光通信器件、处理电路模块等。本书后面章节将对上述关键组成进行深入讨论。

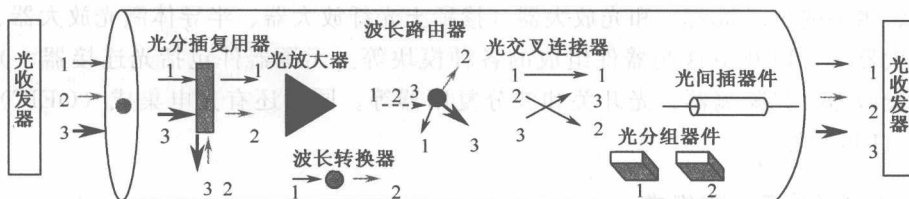


图 1.2 WDM 系统器件

注: 1、2、3 分别表示不同波长信号

1.2 光纤通信的发展历史

谈起光纤通信的发展,可以追溯到 3000 年前的烽火台。在这方面,人类的祖先是应用光通信的先驱。尽管古希腊也曾用过烽火台,但比中国晚了 200 年。后来出现的灯语、旗语和望远镜等都可以被看作是原始形式的光通信。这种传递信息的方法极为简单且信息量有限。严格来说,它们都不能算作真正的光通信。

直到 1880 年,贝尔发明光电话,才可以算是近代光通信的雏形。然而贝尔的“光电话”始终没有走上实用化阶段。究其原因有二:一是没有可靠的、高强度的光源;二是没有稳定的、低损耗的传输介质,无法得到高质量的光通信。自此之后的几十年里,由于无法突破上述两个障碍,加之当时电通信的高速发展,光通信的研究曾一度沉寂。解决光通信的出路在于找到合适的光源及理想的传光介质。这种情况一直延续到 20 世纪 60 年代。

1.2.1 光纤通信的里程碑

20 世纪 60 年代初期,光纤通信发展史上迎来了第一个里程碑。1960 年,世界上第一台相干振荡光源——红宝石激光器问世。1961 年 9 月,中国科学院长春光学精密机械研究所也研制成功中国第一台红宝石激光器。激光器(light amplification by stimulated emission of radiation, laser)可产生频谱纯度很高的光波。它的出现激起了世界性的光通信研究热潮,给沉寂已久的光通信研究注入了活力。1962 年,PN 结砷化镓(GaAs)半导体激光器出现,尽管其还不能工作在室温下,但它还是给光通信的实用化光源带来了希望。

随后人们开始寻找用于激光通信的途径。1965 年, E. Miller 报道了由金属空管内一系列透镜构成的透镜光波导,可避免大气传输的缺点,但因其结构太复杂且精度要求太高而不能使用。而另一方面,光导纤维的研究正在扎实进行。

早在 1951 年,人们就发明了医疗用玻璃纤维,但这种早期的光导纤维损耗很大,高达 1000dB/km,也不能用作光纤通信的传输介质。1966 年,英国标准电信研究所的华裔科学家高锟博士和 G. A. Hockham,对光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文“光频率的介质纤维表面波导”。论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因,大胆地预言,只要能设法降低玻璃纤维的杂质,就有可能使光纤的损耗从 1000dB/km 降低到 20dB/km 甚至更小,从而有可能用于通信。这篇论文鼓舞了许多科学工作者为实现低损耗的光纤而努力。1970 年,美国康宁玻璃公司的 Kapron 博士等三人,经过多次试验,终于研制出传输损耗仅为 20dB/km 的光纤。这是光纤通信发展历史上的又一个里程碑。几乎在同时,室温下连续工作的双异质结 GaAs 半导体激光器研究成功。小型光源和低损耗光纤的同时问世,在全世界范围内掀起了发展光纤通信的高潮。1970 年被人们定为光纤通信元年。中国的光纤通信研究开始于 1974 年。

1985 年,南安普敦大学的 Mears 等人制成了掺铒光纤放大器(EDFA)。1986 年,他们用 Ar 离子激光器作泵浦源又制造出工作波长为 1540nm 的 EDFA。尽管这种用 Ar

离子激光器作泵浦源的光放大器显然不可能在光纤通信中得到应用,但用掺铒光纤得到 1550 nm 通信波长的光增益本身,却在全世界引起了广泛的兴趣,掀起了 EDFA 的研究热潮。这是因为 EDFA 的放大区域恰好与单模光纤的最低损耗区域相重合,而且其具有高增益、宽频带、低噪声、增益特性与偏振无关等许多优良特性。这是光纤通信发展史上的一个划时代的里程碑。20 世纪 90 年代初,波长 1550nm 的 EDFA 宣告研制成功并能实际推广应用。1994 年开始,EDFA 进入商用。中国研究 EDFA 起步比较晚,是从 20 世纪 90 年代开始的。

1989 年, Meltz G. 等人首次利用光纤的紫外光敏效应 (1978 年, Hill K. 等人首次发现光纤中的光敏特性), 采用两束相互干涉的紫外光束从侧面注入光纤的方法制作出谐振波长位于通信波段的光纤光栅。1993 年, Hill K. 等人提出了使用相位掩膜法制造光纤光栅, 使光纤光栅能灵活地、大批量地制造成为可能, 之后, 光纤光栅器件逐步走向实用化。光纤光栅技术使得全光纤器件的研制和集成成为可能, 从而为进入人们梦寐以求的全光信息时代带来了无限生机和希望。可以说光纤光栅、全光纤光子器件、平面波导器件及其集成的出现是光纤通信发展史上的又一个重要里程碑。

1.2.2 爆炸性发展

光纤通信是目前世界上发展最快的领域, 平均每 9 个月性能翻一番、价格降低一半, 其速度已超过了计算机芯片性能每 18 个月翻一番的摩尔定律的一倍。在短短的 30 多年间已经经历了五代通信系统的使用。

1977 年, 世界上第一个商用光纤通信系统在美国芝加哥的两个电话局之间开通, 距离为 7km, 采用多模光纤, 工作波长为 $0.85\mu\text{m}$, 光纤损耗为 $2.5\sim 3\text{dB/km}$, 传输速率为 44.736Mb/s , 这就是通常所说的第一代光纤通信系统。

1977~1982 年的第二代光纤通信系统特征是: 采用 1310nm 长波长多模或单模光纤, 光纤损耗为 $0.55\sim 1\text{dB/km}$, 传输速率为 140Mb/s , 中继距离为 $20\sim 50\text{km}$, 于 1982 年开始陆续投入使用, 一般用于中、短距长途通信线路, 也用作大城市市话局间中继线, 以实现无中继传输。

1982~1988 年的第三代光纤通信系统采用 1310nm 长波长单模光纤, 光纤损耗可以降至 $0.3\sim 0.5\text{dB/km}$, 实用化、大规模应用是其主要特征, 传输信号为准同步数字系列 (PDH) 的各次群路信号, 中继距离为 $50\sim 100\text{km}$, 于 1983 年以后陆续投入使用, 主要用于长途干线和海底通信。

1988~1996 年的第四代光纤通信系统主要特征是: 开始采用 1550nm 波长窗口的光纤, 光纤损耗进一步降至 0.2dB/km , 主要用于建设同步数字系列 (SDH) 同步传送网络, 传输速率达 2.5Gb/s , 中继距离为 $80\sim 120\text{km}$, 并开始采用掺铒光纤放大器 (EDFA) 和波分复用 (WDM) 器等新型器件。

1996 年至今属于第五代光纤通信系统, 主要特征是: 采用 DWDM 技术组建大容量传送平台, 单波长信道传输速率已达 10Gb/s 甚至更高, 另外将语音、数据和图像等各种业务和接口融合在统一平台上传送, 如多业务传送平台 MSTP 等。

今后光纤通信将朝着全光传输交换的方向发展, 即全光网络, 网络更具智能特性。

在传送容量和传送距离等性能方面随着各种光技术及其器件的发展会有更大的突破。

1.3 现代光纤通信技术

1.3.1 光纤通信技术特点

由于光纤通信是利用光导纤维传输光信号来实现通信的,因此比起其他通信方式来说有其明显的优越性。

1. 传输容量大

光纤具有极大的带宽,全波光纤(光纤的低损耗和低色散区在 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ 波长范围)出现后,它的带宽可达 25THz 。若以其十分之一作为传输频带,则可传输约 10^{10} 路电话。因此光纤在单位面积上有极大的信号传输能力,即单位面积上的信息密度极高,传输容量极大。

2. 传输损耗小,中继距离长

目前单模光纤在 1310nm 波长窗口损耗为 0.35dB/km ,在 1550nm 窗口损耗为 0.2dB/km 。而且在相当宽的频带内各频率的损耗几乎一样,因此用光纤比用同轴电缆或波导管的中继距离长得多。波长为 1550nm 的色散位移单模光纤通信系统中,若传输速率为 2.5Gb/s ,则中继距离可达 150km ;若传输速率为 10Gb/s ,则中继距离可达 100km ;若采用光纤放大器、色散补偿光纤,中继距离还可增加。

3. 抗干扰性好,保密性强,使用安全

通信用的光纤由电绝缘的石英材料制成,信号载体是光波,有很强的抗电磁干扰能力。光波导结构使光波能量基本上限制在光纤纤芯中传输,在芯子外很快地衰减,光纤光缆密封性好,若在光纤或光缆的表面涂上一层消光剂则效果更好,因而信息不易泄露和窃听,保密性好。光纤材料是石英(SiO_2)介质,具有耐高温、耐腐蚀的性能,因而可抵御恶劣的工作环境。

4. 材料资源丰富,用光纤可节约金属材料

制造通常的电缆需要消耗大量的铜和铅等有色金属。以四管中同轴电缆为例, 1km 四管中同轴电缆约需 460kg 铜,而制造 1km 光纤,只需几十克石英即可。同时制造光纤的石英丰富而便宜,取之不竭。用光纤取代电缆,可节约大量的金属材料,具有合理使用地球资源的重大意义。

5. 质量轻,可挠性好,敷设方便

相同话路的光缆要比电缆轻 $90\%\sim 95\%$,而光缆质量仅为电缆质量的 $1/10\sim 1/20$,直径不到电缆的 $1/5$ 。另外,经过表面涂覆的光纤具有很好的可挠性,便于敷设,可架

空、直埋或置入管道。这对于在飞机、宇宙飞船和人造卫星上使用光纤通信更具有重要意义。

当然, 光纤通信除了上述优点外, 也存在一些缺点。例如, 组件昂贵, 光纤质地脆, 机械强度低, 连接比较困难, 分路、耦合不方便, 弯曲半径不宜太小等。这些缺点在技术上都是可以克服的, 它不影响光纤通信的使用。近年来, 光纤通信发展很快, 它已深刻地改变了通信网的面貌, 成为现代信息社会最坚实的基础, 并向人们展现了无限美好的未来。

1.3.2 现代光纤通信技术角色

21 世纪是光子的世纪, 是光网络的世纪, 通信走向全光网络必然要涉及开发一系列不同于以往传统光纤通信要求的新技术、新器件。

1. 超大容量光纤通信系统

随着计算机网络及其他新的数据传输服务的迅猛发展, 长距离光纤传输系统对通信容量的需求增长很快, 大约每两年就要翻一番, 原有的光纤通信系统的传输容量已经成为当前和未来信息业务发展的“瓶颈”, 如何最大限度地挖掘光纤通信的潜在带宽已经成为亟待解决的问题。通常, 解决的方法有空分复用 (SDM)、时分复用 (TDM) 和波分复用等三种技术。尤其波分复用技术通过采用单根光纤传输多路光信道信号, 从而使光纤的传输能力成倍增加。目前, 遍布全球的光缆通信网大都为实用常规光缆 (G. 652 光纤), 采用波分复用技术不仅可以充分利用光纤的带宽进行超大容量的透明传输, 可以平滑升级扩容组建全光网络, 还可以充分利用现成的、已敷设的光缆, 从而节约了光纤资源。显然, 波分复用技术已成为当前光纤通信领域的研究热点和首选技术, 在未来的全光网络中, 波分复用技术是实现全光波长交换和路由的重要基础。如未来能将光时分复用 (OTDM)、光码分复用 (OCDM) 等技术与波分复用结合起来, 光纤通信容量还将有革命性的扩展。

2. 光集成器件和光电集成器件的研究

如同电子集成器件那样, 也可以将许多光学器件 (特别是半导体的光器件, 如半导体激光器、光检测器等) 集成在一个衬底上, 各器件用半导体光波导互联, 制成光集成器件。光电集成器件具有体积小、速度高、可靠性高等优点, 发展光集成是光纤通信的必然。

3. 新类型光纤的研究

传统的 G. 652 单模光纤在适应上述超高速长距离传送网络的发展需要方面已暴露出力不从心的态势, 开发新型光纤已成为开发下一代网络基础设施的重要组成部分。目前, 为了适应干线网和城域网的不同发展需要, 已出现了色散移位光纤、色散补偿光纤、无水吸收峰光纤 (全波光纤) 和尚未成熟的光子晶体光纤等。此外, 为了满足接入网方面的需要, 聚合物光纤也应运而生。