

高新技术丛书

光纤通信

魏继明 主编



河北科学技术出版社

高新技术丛书

光 纤 通 信

魏 继 明 主 编

河北科学技术出版社

(冀)新登字 004 号

主 编 魏继明

编 写 者 魏继明 郭忠怀 韦 锦
陈新民 黄 涛 陈 琦
杨 莲

主 审 叶培大 周炳焜 董效义
梁春广

高新技术丛书

光 纤 通 信

魏继明 主编

河北科学技术出版社出版发行(石家庄市北马路 45 号)
河北新华印刷一厂印刷 新华书店经销

850×1168 毫米 1/32 24 印张 600000 字 1994 年 5 月第 1 版
1994 年 5 月第 1 次印刷 印数:1—1000 定价:26.00 元

ISBN 7-5375-0965-4/TN·5

序

光纤通信发展迅猛，截止 1991 年底，全世界敷设光缆达 563 万公里，短短的 20 余年，光纤通信已成为一种主要通信方式。光纤通信容量大得惊人，要实现宽带（即高速）通信，非此莫属，这已为世人所共识。

不仅如此，目前光纤通信技术仍在不断革新，新思想、新成果层出不穷，使人眼花缭乱，是最活跃的科技领域之一。

我国光纤通信技术近年来发展也很快，但科技水平仍很低很落后，必须勤奋学习，努力赶上。

近年来，我国已出版过若干有关光纤通信方面的著作，各有所长，互为补充。

本书特色显著，着重介绍半导体激光器和光电探测器，针对光纤通信的实际问题，展开理论研究和论述，是光纤通信领域研究、发展、规划与生产的工程技术人员和科研人员的一部很好的参考书；对于讲授光纤通信课程的教师，本书也能提供有用的背景材料。

本书各章对光纤通信的组成部分，除阐明原理外，主要介绍其材料、结构、制造工艺、工程设计以至市场。此外，本书最后一章中，结合实际产品，阐述了光纤传输系统。这两者也是本书的特色。

可以预期，本书的出版对有志于学习及从事光纤通信事业的读者，受益必大。对我国光纤通信事业，必将有所贡献，为此，乐于推荐。

中国科学院学部委员
北京邮电学院名誉院长、教授

叶培大

1992 年 11 月

前 言

随着光纤通信和计算机技术的不断发展,信息技术产业尤其引起世界瞩目。信息技术与生物技术和新材料技术在当今高技术领域里起着带头的作用,成为高技术的先导和核心。

由于光电子器件、微电子器件的重大突破,光电子微电子系统集成技术的发展,使光纤通信成为当今和未来信息技术的支柱之一。

近年来,在光纤通信领域中涌现的技术文章越来越多,但却很少对它们进行评价并加以完整的论述,其次是大部分材料来自学术研究,比较偏重于开阔思想和探索性研究,而对从事光纤通信研究、发展、规划、设计与生产的科研人员、工程技术人员实际上感到重要的方面则有所忽视。

本书对光纤通信的机理、光纤光缆、光电子器件及系统集成技术、光端机、光纤通信系统、未来光纤通信系统等方面的重要的科研成果,以图文并茂的形式进行了系统的理论论述和技术讲解,同时提供了大量的规划、设计、方案实施数据资料等。故此,本书即是一本综合性的评述著作,又是一本以相当大的篇幅论述光纤通信的核心部分——光电子器件、光端机系统集成技术的专著。同时,本书还较充分地反映了同仁们努力取得的最新重大科研成果。

在论述光纤通信技术的有关问题时,本书采用了三种基本方法,即理论、规划设计和实际的方法,并自始至终地保持从实际出发来论述问题的风格,使本书具备理论系统简捷,技术详尽实

用的特点。

本书在编写过程中,得到了有关人士的大力支持和帮助,特别是中国科学院学部委员、北京邮电学院名誉院长叶培大教授,中国科学院学部委员、国家高技术信息领域光电子主题专家组组长、清华大学周炳焜教授,美国 SPIE 会员、中国光学学会激光专业委员会委员、中国仪器仪表现代光学研究学会图象科学委员会委员、天津光纤光缆专业委员会副主任委员、南开大学光学研究所董效义教授,机械电子工业部第十三研究所副所长梁春广教授等对本书的内容、结构层次等提出了许多指导性意见并进行了审阅。郭韦韦、张承二同志为本书绘制了大部分图表,特此一并致谢!

由于作者水平所限,欢迎专家及广大读者对本书的缺点错误批评指正。

编者

1993年11月

目 录

第一章 综述..... (1)

第一节 概论..... (1)

一、光纤通信..... (1)

二、宽带综合数字信息网 (ISDN) (1)

三、移动通信..... (2)

第二节 光纤和光电器件的发展历史..... (3)

一、光纤..... (3)

二、光电器件..... (4)

第三节 光纤通信系统的开发与应用..... (5)

一、四代光纤通信系统的开发应用..... (5)

二、海底光纤光缆系统..... (8)

三、光纤用户网系统 (ISDN) (9)

四、光纤系统的应用..... (11)

第四节 世界光纤通信市场的状况..... (12)

第五节 光纤通信的发展方向..... (13)

一、光纤市场期待着“FTTH”和“FDDI” 的实现..... (13)

二、不断改善光纤性能..... (14)

三、光纤通信系统的传输容量不断扩大..... (15)

四、发展相干光通信系统..... (16)

五、发展波分复用技术..... (16)

第六节 光纤通信的发展加速了信息时代的到来·····	(17)
第二章 光纤光缆 ·····	(18)
第一节 光波在光纤中传播的理论·····	(18)
一、光波在光纤中的射线传播·····	(18)
二、光波在光纤中的模式传播·····	(27)
第二节 光纤的种类和特性·····	(36)
一、光纤的分类·····	(36)
二、光纤的特性·····	(39)
第三节 光纤的测量·····	(52)
一、光纤制造特性参数的测量·····	(52)
二、光纤传输特性参数的测量·····	(90)
第四节 光纤光缆制作技术·····	(105)
一、材料制备与提纯·····	(105)
二、预制棒的工艺制备·····	(106)
三、拉丝与涂覆·····	(109)
四、套塑与成缆·····	(110)
第五节 光纤连接与光缆敷设技术·····	(112)
一、光缆连接技术·····	(112)
二、光缆外包皮连接·····	(118)
三、光缆敷设技术·····	(119)
第六节 光缆维护技术·····	(124)
一、维护技术内容·····	(124)
二、维护注意事项·····	(125)
三、维护设备与方法·····	(127)
第三章 光源 ·····	(130)
第一节 光源概述·····	(130)

一、概述	(130)
二、激光器的优越性	(133)
三、产生激光的物理原理	(137)
四、激光管的结构与特性	(144)
五、发光管的结构特性	(150)
六、光源的幅图形	(156)
七、光源与光纤的耦合	(159)
第二节 半导体发光管 (LED)	(164)
一、半导体发光管的功率和调制带宽	(164)
二、发光管的特性	(176)
三、双波长发光二极管	(183)
四、MBE 和 VPE 制作的发光管	(185)
五、LED 用于多模光纤系统的设计考虑	(185)
六、系统实验和现场实验	(190)
第三节 半导体激光器的高频调制	(195)
一、激光器的动力学速率方程及其应用范围	(196)
二、激光器的瞬态响应和小信号调制特性	(204)
三、注入型半导体激光器的频率响应极限	(217)
四、激光器高频寄生参量	(239)
五、超辐射和端面反射率的降低对调制响应的 影响	(249)
六、其它调制方式和效应	(253)
第四节 C^3 激光器	(262)
一、 C^3 激光器的制作	(266)
二、高比特率调制下的单频工作	(272)
三、不连续单频调谐	(278)
四、模拟频率调制	(283)
五、利用反馈回路实现光谱稳定	(288)

六、 C^3 激光器的工作特性	(290)
七、 $1.55\mu\text{m}$ C^3 激光器的单频传输实验	(294)
八、多级多路光频移键控 (FSK)	(310)
九、光开光和程序系统	(311)
十、利用光谱双稳态的频移键控	(315)
十一、具有电极吸收器的门控锁模激光器	(317)
十二、具有集成腔内调制器的 Q 开关 C^3 激光器	(321)
十三、放大器——调制器与 C^3 激光器的集成	(324)
十四、光逻辑运算	(328)
十五、自对准激光器——探测器组件	(333)
十六、 C^3 激光器的理论分析	(336)
第五节 分布反馈动态单模激光器	(352)
一、动态单模 (DSM) 激光器的结构和理论	(354)
二、耦合结构	(355)
三、分布反射器的参数	(358)
四、激光阈值条件	(363)
五、动态单模工作条件	(368)
六、纵模选择性	(372)
七、DFB 激光器的激光波长与温度的关系	(374)
八、动态波长移动	(375)
九、DSM 激光器的制作和激光特性	(377)
十、结论	(387)
第六节 半导体激光器的光谱性质	(391)
一、吸收、发射和增益	(392)
二、模式强度谱	(402)
三、光谱涨落	(415)

第四章 光电探测器

第一节 概述

第二节 光电探测器的物理原理	(433)
一、光电探测器 (PD)	(433)
二、雪崩管 (APD)	(436)
第三节 光电探测器的材料结构特性	(444)
一、光电探测器的半导体材料	(444)
二、光电探测器的结构	(445)
三、器件特性	(446)
第四节 APD 的制造	(451)
一、武藏野通研的 InGaAsP/InP APD	(451)
二、日电的 InGaAsP/InP APD	(456)
三、KDD 的 InGaAsP APD	(461)
第五节 光电探测器的工作特性参数和参数测量	(467)
一、工作特性参数	(467)
二、光电探测器工作特性参数的测量	(475)
三、APD 和 PIN 光电探测器二极管的使用比较	(479)
第六节 光电探测器的电路模型	(480)
第七节 光电探测器的信噪比性能	(483)
第八节 光电探测器——放大器的信噪比	(488)
一、卷积分	(488)
二、PIN—放大器的信噪比	(489)
三、APD—放大器的信噪比	(493)
第九节 光无源器件	(495)
一、光纤连接器	(495)
二、光隔离器	(497)
三、光开关	(497)
四、光纤分路耦合器	(499)
五、光衰减器	(500)
六、光调制器	(500)

第五章 PCM 数字通信光收发端机	(502)
第一节 PCM 数字通信光发射机	(502)
一、光纤通信系统对光源的要求	(503)
二、光源直接强度调制	(505)
三、光端机的驱动电路	(508)
四、辅助电路	(529)
五、140Mb/s 混合集成光发射机	(532)
六、140Mb/s 混合集成激光器驱动模块	(549)
七、激光器自动功率控制模块	(554)
八、LD—ATC 激光器的自动温度控制功能模块	(561)
第二节 PCM 数字通信光接收机	(565)
一、光接收机的组成	(566)
二、光纤通信系统对光电探测器的要求	(567)
三、理想光接收机的灵敏度	(569)
四、APD 光接收机	(596)
五、光接收机的动态范围	(603)
六、140Mb/s 混合集成光接收机	(604)
第三节 光中继器	(612)
第四节 光端机的测试	(617)
一、光发射机的指标测试	(617)
二、光接收机的指标测试	(618)
三、抖动容限测试	(620)
四、光端机告警功能测试	(621)
第六章 光纤传输系统	(623)
第一节 调制方式	(623)
第二节 光纤数字传输系统	(633)

一、中继距离的设计.....	(633)
二、接口与线路码型的考虑.....	(651)
三、模式噪声的考虑.....	(660)
四、光脉冲占空比.....	(668)
五、发射光功率.....	(669)
六、系统性能的考虑.....	(672)
七、经济性的考虑.....	(677)
第三节 光纤模拟系统.....	(680)
一、光纤模拟传输系统的考虑.....	(680)
二、光纤模拟系统的基本构成.....	(685)
三、单视频信号的光纤模拟系统.....	(692)
第四节 多端分布系统.....	(704)
第五节 集成光路系统.....	(709)
一、无源器件.....	(711)
二、有源器件.....	(714)
第六节 未来的光纤通信系统.....	(717)
一、波分复用系统.....	(717)
二、分波合波器.....	(718)
三、系统设计考虑.....	(721)
四、新型波分复用系统.....	(724)
第七节 超长波长光纤通信系统.....	(726)
一、超长距离通信的设想.....	(726)
二、超低损耗光纤材料.....	(727)
第八节 超外差光纤通信.....	(729)
一、超外差光纤通信的基本原理.....	(730)
二、几个关键技术问题.....	(733)
第九节 全光通信系统.....	(738)
第十节 光纤通信线路的监视与控制.....	(739)

一、监控方式与基本组成	(740)
二、监控系统的主要功能	(743)
三、监控信息的传输	(747)
附录	(750)

第一章 综 述

第一节 概 论

通信在信息技术中主要起信息传输、存贮、分配和交换作用。当代人类对通信提出的二个基本要求为：一是不受时间、空间、地点的限制可以随时随地地进行各种各样的信息交流，努力缩小时空差别；二是信息交换种类多样化，如电话、电报、数据和图像的传输等。通信技术与微电子、光电子、计算机技术等结合，使现代通信技术的发展充满了生机与活力。进入 90 年代，通信发展的主要方向有三个：

一、光纤通信

为了满足高速率、大容量、低损耗、强抗干扰和保密化等信息传输要求，光纤通信得天独厚的优势，使它成为现代通信传输的主动脉。预计一根光纤中传输的信息量将突破 10Gb/s，相当于一秒传输 5~10 万页 32 开纸的印刷品。

二、宽带综合数字信息网 (ISDN)

多种信息传输的网络化是世界各国努力开发和建设的重点。其发展模式是把通信技术与计算机技术的先进成就结合起来，使声音、图象、数据在同一网络传输和交换；使程控交换机智能化，支持 ISDN 及各种信息增值网络；信息传输以光纤为主，为便于边

远地区的联络,利用微波和卫星通信技术使组网灵活化,人们追求的目标是在 90 年代末实现宽带综合业务数字网,即 B-ISDN。

三、移动通信

为满足人们在活动途中的快速、及时交换信息,必然使通信手段移动化,这促使移动通信得到重视和发展,它将使世界上任何两地人们之间的信息交流变得简捷、快速,真正实现古人所说的“天涯若比邻”。

光纤通信目前已是发达国家竞相发展的通信手段,其发展速度之快是十分惊人的。

光纤通信的应用主要分为公用通信网和专用通信网两类,根据通信系统的长度又可分为长途干线、市局间中继及用户网三类。

世界发达国家如美、日、英、法、德和瑞典都在大力发展光纤通信技术,广泛铺设光纤通信线路。目前全世界铺设的光纤通信线路估计长达 1000 万公里。其中,美国约占一半以上。不少国家现已作出了停止铺设电缆通信线路的技术决策。国外预计到 2000 年光纤通信线路的长度将再增加 10 倍。

宽带综合业务数字网(B-ISDN)是下一代通信技术的突出代表,是未来信息化社会的重要标志之一。B-ISDN 能使大量话音、数据、文字、传真、图像、电子邮件等多种信息统一在同一信息网内进行传送、交换和处理,从而使各部门的计算机、数据库、电话机、传真机、可视图文等新型通信终端连成网,实现信息交流和资源共享。目前,世界各先进国家都在开发 B-ISDN,预期在本世纪末下世纪初进入家庭。通向家庭的 ISDN 就是现在人们视为光通信产业希望所在的“Fiber To The Home”(FTTH),一旦全球性推广,则所需线路和系统将是亿公里、亿端机了,其时光通信产业在产业界的地位将有惊人的前景。