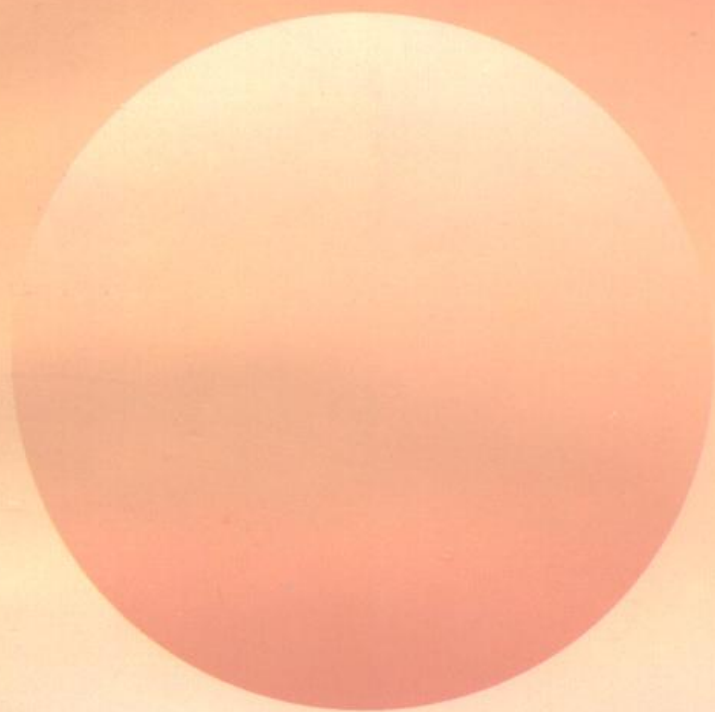


● 研究生用书 ●

FIBER OPTIC COMMUNICATION
PRINCIPLES AND NEW
TECHNIQUES

华中理工大学出版社



董天临
谈新权
陈京文

光纤通信原理和新技术

TN929.11

D74

442419

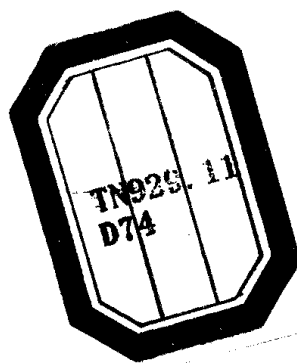
光纤通信原理和新技术

董天临
谈新权
陈京文

华中理工大学出版社



00442419



DW 14/25 18
图书在版编目(CIP)数据

光纤通信原理和新技术/董天临等
武汉:华中理工大学出版社, 1998年4月
ISBN 7-5609-1726-7

I. 光…

Ⅱ. ①董… ②谈… ③陈…

Ⅲ. 光缆通信

Ⅳ. TN929·11

·研究生用书·

光纤通信原理和新技术

董天临 谈新权 陈京文

责任编辑:傅岚亭

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:5.25 插页:2 字数:120 000

1998年4月第1版 1998年4月第1次印刷

印数:1-1 500

ISBN 7-5609-1726-7/TN·48

定价:7.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

光纤通信是一门发展非常迅速的新兴学科。本书介绍导波光学、纤维光学和半导体光电子学的原理及器件、光发送机、光接收机、光纤通信系统和光同步数字网的有关技术以及光纤通信和相关领域的新进展。重点是基本原理和新技术。本书是光纤通信及有关方向的硕士研究生教材,也可以供大学本科高年级学生、研究人员、工程师和管理人员学习研究光纤通信原理和新技术参考。

ABSTRACT

Fiber optic communication is a very rapidly developing new subject. The principles and devices of guided-wave optics, fiber optics and semiconductor opto-electronics, in addition to techniques of transmitter, receiver, system and SDH are introduced in this book. An up-to-date account of fiber optic communication and its related fields is presented. The emphasis is on principles and new techniques. This is a text book for graduate students in fiber optic communication or related fields, and it can also be used as a reference for university juniors or seniors, and for scientists, engineers, managers in their study of the principles and new techniques of fiber optic communications.

“研究生用书”总序

研究生教材建设是提高研究生教学质量的重要环节,是具有战略性的基本建设。各门课程必须有高质量的教材,才能使学生通过学习掌握各门学科的坚实的基础理论和系统的专门知识,为从事科学研究工作或独立担负专门技术工作打下良好的基础。

我校各专业自 1978 年招收研究生以来,组织了一批学术水平较高,教学经验丰富的教师,先后编写了公共课、学位课所需的多种教材和教学用书。有的教材和教学用书已正式出版发行,更多则采用讲义的形式逐年印发。这些讲义经过任课教师多年教学实践,不断修改、补充、完善,已达到出书的要求。因此,我校决定出版“研究生用书”,以满足本校各专业研究生教学需要,并与校外单位交流,征求有关专家学者和读者的意见,以促进我校研究生教材建设工作,提高教学质量。

“研究生用书”以公共课和若干门学位课教材为主,还有教学参考书和学术专著,涉及的面较广,数量较多,准备在今后数年内分批出版。编写“研究生用书”总的要求是从研究生的教学需要出发,根据各门课程在教学过程中的地位和作用,在内容上求新、求深、求精,每本教材均应包括本门课程的基本内容,使学生能掌握必需的基础理论和专门知识;学位课教材还应接触该学科的发展前沿,反映国内外的最新研究成果,以适应目前科学技

术知识更新很快的形势；学术专著则应充分反映作者的科研硕果和学术水平，阐述自己的学术见解。在结构和阐述方法上，应条理清楚，论证严谨，文字简炼，符合人们的认识规律。总之，要力求使“研究生用书”具有科学性、系统性和先进性。

我们的主观愿望虽然希望“研究生用书”的质量尽可能高一些，但由于研究生的培养工作为时尚短，水平和经验都不够，其中缺点、错误在所难免，尚望校内外专家学者及读者不吝指教，我们将非常感谢。

华中理工大学研究生院院长

陈 珽 黄树槐

1989. 11.

写在 1995 年

在今天，国家之间的竞争是国家综合实力的竞争，国家综合实力的竞争关键是经济实力的竞争，而经济实力的竞争关键又在于科技（特别是高科技）的竞争，科技（特别是高科技）的竞争归根结底是人才（特别是高层次人才）的竞争，而人才（特别是高层次人才）的竞争基础又在于教育。“百年大计，教育为本；国家兴亡，人才为基。”十六个字、四句话，确是极其深刻的论断。

显然，作为高层次人才培养的研究生教育就在一个国家的方方面面的工作中，占有十分重要的战略地位。可以说，没有研究生教育，就没有威伟雄壮的科技局面，就没有国家的强大实力，就没有国家在国际上的位置，就会挨打，就会受压，就会被淘汰。

“工欲善其事，必先利其器。”教学用书是教学的重要基本工具与条件。这是所有从事教育的专家所熟知的事实。所以，正如许多专家所知，也正是原来的《“研究生用书”总序》中所指出，研究生教材建设是保证与提高研究生教学质量的重要环节，是一项具有战略性的基本建设。没有研究生的质量，就没有研究生教育的一切。

我校从 1978 年招收研究生以来，即着力从事于研究生教材与教学用书的建设。积十多年建设与实践的经验，我校从 1989 年起，正式分批出版“研究生用书”。第一任研究生院院长陈珽教授就为之写了《“研究生用书”总

序》，表达了我校编写这套用书的指导思想与具体要求，“要力求‘研究生用书’具备科学性、系统性、先进性”。第二任研究生院院长，也就是当时我校的校长黄树槐教授完全赞同这一指导思想与具体要求，从多方面对这套用书加以关心与支持。

我是十分支持出版“研究生用书”的。早在1988年我在为列入这套书中的第一本，即《机械工程测试·信息·信号分析》写“代序”时就提出：一个研究生应该博览群书，博采百家，思路开阔，有所创见。但这不等于他在一切方面均能如此，有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在“这一特定方面”，他也可以选择一本有关的书作为了解与学习这方面专业知识的参考；如果一个研究生的主要兴趣在“这一特定方面”，他更应选择一本有关的书作为主要学习用书，寻觅主要学习线索，并缘此展开，博览群书。这就是我赞成为研究生编写系列教学用书的原因。

目前，这套用书已出版了6批共30种，初步形成规模，逐渐为更多读者所认可。在已出版的书中，在8种分获国家级、部省级图书奖，有13种一再重印，久销不衰，有的印刷总数已近万册。采用此套书的一些兄弟院校教师纷纷来信，赞誉此书为研究生培养与学科建设作出了贡献，解决了他们的“燃眉之急”。我们感谢这些赞誉与鼓励，并将这些作为对我们的鞭策与鼓励，“衷心藏之，何日忘之？！”

现在，正是江南初春，“最是一年春好处”。华工园内，红梅怒放，迎春盛开，柳枝抽绿，梧叶含苞，松柏青翠，

樟桂换新，如同我们的国家正在迅猛发展，欣欣向荣一样，一派盎然生机。尽管春天还有乍寒时候，我们国家在前进中还有种种困难与险阻，有的还很严峻，但是，潮流是不可阻挡的，春意会越来越浓，国家发展会越来越好。我们教师所编的、所著的、所编著的这套教学用书，也会在解决前进中的种种问题中继续发展。然而，我们十分明白，这套书尽管包含了我们教师的辛勤的长期的教学与科研工作的劳动结晶，作为教学用书百花园中的一丛鲜花正在怒放，然而总会有这种或那种的不妥、错误与不足，我衷心希望在这美好的春日，广大的专家与读者，不吝拨冗相助，对这套教学用书提出批评建议，予以指教启迪，为这丛鲜花除害灭病，抗风防寒，以进一步提高质量，提高水平，更上一层楼，我们不胜感激。我们深知，“一个篱笆三个桩”，没有专家的指导与支持，没有读者的关心与帮助，也就没有这套教学用书的今天。

诗云：“嚶其鸣矣，求其友声。”这是我们的心声。

中国科学院院士
华中理工大学校长
兼研究生院院长

杨叔子
于华工园内
1995年3月7日

前 言

光纤通信是一门新兴的科学技术,发展非常迅速,其速度在通信史上是罕见的。目前,其应用已经大大超过了原来长途通信干线的范围,与国民经济各行业、各部门都发生了密切的关系。与光纤通信有关的技术、学科和产业非常广泛,不仅包括光纤、光缆、光源和光检测器、光发送机和光接收机的设计、工艺和制造,而且还包括高速调制、光复用、光变频、光放大和光网络等领域,涉及导波光学和集成光学、半导体光电子学、非线性光学、通信和网络理论等方面的许多专业和学科。不仅如此,其相关的原理和技术在光纤通信外的其它领域也有非常广泛的应用。自然,对于光纤通信方面的高层次人才需求量大和迫切是不言而喻的。

我校从 1988 年起先后相继开设了本科生和研究生的光纤通信课程。从教学中我们感到,作为研究生教材,读者的专业背景和对课程内容的要求,可能存在很大的差异。从以往教学的情况看,选修光纤通信的学生,其专业有电子类的通信、电路、信息、微波、光电子技术、自动控制,也有电力类的电机电器、电测、发配电、水电等等,其它专业的学生也对光纤通信有强烈的兴趣。这些学生在校的研究方向,除光纤通信和空间、水下光通信外,尚涉及光电子学、光纤传感与信息处理、计算机通信网、电磁兼容等相当广泛的领域。至于读者获得学位后所从事工作的性质,会涉及到科研、设计、生产、经营、管理等许多方面。因此,如何在最大程度上满足不同读者的需求,并能使他们不仅在目前,而且在以后的工作中能够跟上光纤通信迅猛发展的步伐以至作出自己的贡献,我们的选择是,加强原理和新技术方面的论述,而对读者容易从其它方面获得的光纤通信技术的早期内容,作了大幅度的精简。这样可以用有限

的篇幅和较少的学时加强学科基础,并引导读者进入学科前沿。由于编者理论水平和实践程度有限,这种尝试是否能达到预期效果,还请本书使用者及同行专家提出宝贵意见。

本书编写分工如下:谈新权撰写第三章和第七章蓝绿光通信部分,陈京文撰写第四、五章,董天临撰写其余部分并负责全书主编工作。

编者

1997年7月 于华中理工大学

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 光纤通信系统及其主要特点	(1)
1.2 光纤通信的发展	(4)
1.3 光纤及其制造工艺简介	(6)
1.4 课程内容简介	(7)
第二章 导波光学和纤维光学的基本原理	(9)
2.1 平面介质光波导	(10)
2.1.1 对称光波导	(10)
2.1.2 色散特性	(12)
2.1.3 单模工作条件	(14)
2.1.4 场分布	(16)
2.1.5 平面波导的主要特性	(16)
2.2 阶跃光纤的电磁理论	(18)
2.2.1 场方程与场的表达式	(18)
2.2.2 特征值问题与色散方程	(21)
2.2.3 截止频率与单模工作条件	(23)
2.2.4 光纤模式及其分类	(26)
2.3 光波导中模式的相互作用	(29)
2.3.1 介质微扰与模耦合	(29)
2.3.2 周期微扰	(31)
2.3.3 同向耦合与反向耦合	(33)
2.3.4 分布反射与分布反馈	(34)
2.4 光脉冲在光纤中的传播	(36)

2.4.1	基本传播方程	(37)
2.4.2	色散和脉冲展宽	(38)
2.4.3	光纤孤子	(40)
2.5	导波光学和纤维光学器件	(41)
2.5.1	定向耦合器	(42)
2.5.2	Mach-Zehnder(M-Z)干涉仪	(45)
2.5.3	声光器件	(46)

第三章 半导体光电子学的原理和器件 (50)

3.1	半导体中光的辐射和吸收	(50)
3.2	P-N 结及其光电特性	(52)
3.3	半导体激光器(LD)	(53)
3.3.1	工作原理	(53)
3.3.2	LD 的结构	(54)
3.4	LD 的工作特性	(56)
3.4.1	速率方程	(56)
3.4.2	伏安特性和光功率-电流特性	(56)
3.4.3	调制响应	(58)
3.4.4	噪声	(60)
3.4.5	新型 LD	(61)
3.5	光放大器	(65)
3.5.1	半导体激光放大器	(66)
3.5.2	掺铒光纤放大器	(66)
3.6	发光二极管(LED)	(67)
3.7	光检测器	(68)
3.7.1	PIN 光电二极管	(68)
3.7.2	雪崩光电二极管	(70)

第四章 光发送机 (72)

4.1	调制方式	(73)
4.1.1	数字调制与模拟调制	(74)
4.1.2	直接基带强度调制(BB-IM)	(74)

4.1.3	间接(脉冲)强度调制	(74)
4.2	LD的驱动与控制电路	(75)
4.2.1	调制原理	(76)
4.2.2	影响调制特性的因素	(76)
4.2.3	调制驱动电路	(77)
4.2.4	LD的控制电路	(78)
4.3	LED的驱动电路	(80)
4.3.1	数字传输的驱动电路	(80)
4.3.2	模拟传输的驱动电路	(81)
第五章	光接收机	(84)
5.1	数字光接收机基本原理	(84)
5.1.1	基本结构	(85)
5.1.2	噪声机制	(86)
5.2	数字光接收机中的输出等效噪声	(87)
5.2.1	数字光接收机模型	(87)
5.2.2	光检测器的噪声功率	(89)
5.2.3	前置放大器的噪声功率	(91)
5.2.4	波形参数	(91)
5.3	数字光接收机	(92)
5.3.1	误码率与阈噪比	(92)
5.3.2	灵敏度	(93)
5.3.3	时钟提取和数据恢复	(94)
5.4	模拟光接收机	(96)
5.4.1	电路组成	(96)
5.4.2	光端机信噪比	(97)
5.4.3	等效噪声功率	(97)
5.4.4	最佳倍增因子与光接收机灵敏度	(98)
第六章	光纤通信系统与光纤通信网	(100)
6.1	点一点传输	(101)
6.1.1	概述	(101)

6.1.2	线路码型	(103)
6.1.3	系统功率估算和带宽估算	(105)
6.2	系统噪声	(107)
6.2.1	相对强度噪声	(108)
6.2.2	模式噪声	(108)
6.2.3	模分配噪声	(109)
6.2.4	啁啾噪声	(110)
6.2.5	反射噪声	(110)
6.3	光放大器的系统设计	(111)
6.3.1	设计考虑	(111)
6.3.2	中继放大器位置的优化	(112)
6.3.3	放大器的级联	(113)
6.4	波分复用系统	(114)
6.5	副载波复用(SCM)系统	(117)
6.6	光同步数字传输网	(121)
6.6.1	基本概念和主要特点	(121)
6.6.2	速率与帧结构	(123)
6.6.3	复用原理和单元参数	(124)
6.6.4	ATM 信元的映射	(126)
6.6.5	典型线路系统	(127)

第七章 新技术及其应用

7.1	发展趋势	(129)
7.2	高速调制	(130)
7.2.1	光脉冲源	(131)
7.2.2	外调制器	(132)
7.3	检测和接收方式	(133)
7.4	利用光纤非线性特性的传输技术	(135)
7.5	先进传输系统	(136)
7.6	光电子集成、光交换和全光通信网	(139)
7.7	非光纤通信应用	(141)
7.7.1	光纤传感	(141)

7.7.2 蓝绿光通信	(142)
参考书目	(145)

第一章 概 论

信息的产生、传播和处理是现代生活和未来社会的一项基本活动。长期以来,这些活动主要采用电子学领域的方法,但光纤、半导体光源和光检测器的技术进步已经使得这种情况完全改观。信息科学的发展进入了一个崭新的电子学和光学相结合的领域,并且光信息技术的应用日益占有越来越大的比重。这方面具有代表性的技术包括光纤通信、光纤传感、光盘存储和显示及光信息处理等,而光纤通信在其中的地位最为重要。光纤通信不仅从深度和广度两方面促进了通信学科与许多相关学科,如导波光学和集成光学、半导体光电子学、非线性光学等的互相影响和渗透,而且与数理、材料等基础学科交叉形成许多前沿研究领域。更重要的是,光纤通信已经形成产业,不仅与国民经济,而且与人们的日常生活习习相关。现代社会已离不开光纤通信。

1.1 光纤通信系统及其主要特点

由于光波是一种频率极高(达 10^{14} Hz 数量级)的电磁波,用光波作载波进行信息传输有很大的容量或带宽。然而,空气中光的传播散射和衰减很大,只有利用光波导,即光纤,才有可能实现低损耗传输,获得有足够远的传输距离的实用光通信系统。

利用光纤作为传输媒介(信道)的通信系统称为光纤通信系统。最基本的光纤通信系统是所谓点对点光纤通信系统。它包括光发送机、光接收机和一根光纤传输线。光发送机把待传输的电信