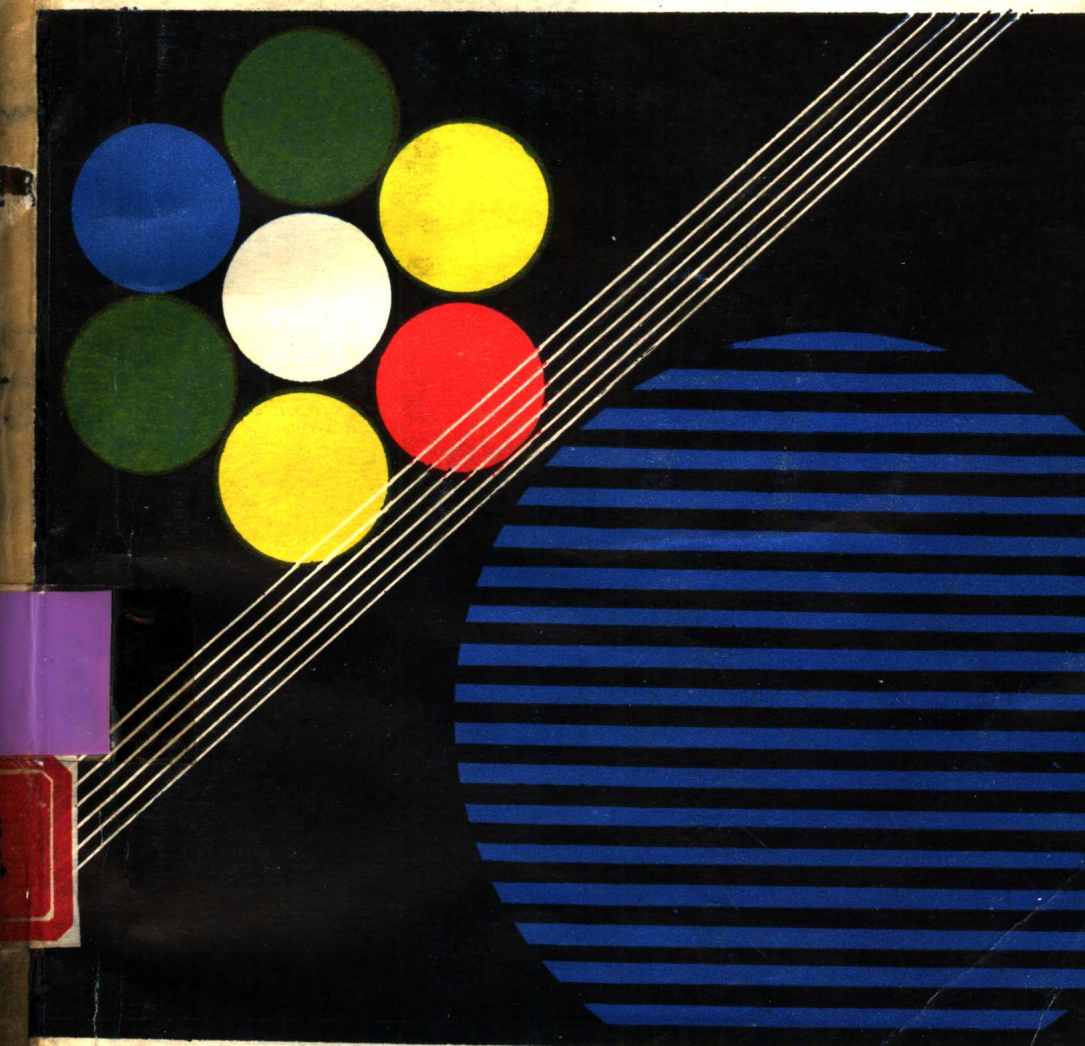


光纤通信基础

[日]副岛俊雄 贝渊俊二 著 李先源 石景魁 译

刘时衡 校 人民邮电出版社



光 纤 通 信 基 础

〔日〕 副岛 俊雄 著
贝 渊 俊二
李先源 石景魁 译
刘时衡 校

人 民 邮 电 出 版 社

新版 光ファイバ通信

副島 俊雄 著

貝淵 俊二

1981

(株)電気通信技術ニユース社

内 容 提 要

本书根据八十年代初的最新资料，从基本物理概念入手介绍光缆传输方式的基本原理和具体应用。全书共分八章。第一章介绍光通信发展史和光纤通信概要；第二章至第六章为全书核心，首先介绍光缆和光器件，接着介绍系统的构成方式、传输装置。第七章是光通信的应用。第八章介绍光纤通信的测量技术。

全书各章内容取材精炼，语言简洁，深入浅出，便于初接触光纤通信的专业人员阅读。本书可供从事光通信工作的技术人员和大专院校有关专业师生参考。

光 纤 通 信 基 础

[日] 副島 俊雄 貝淵 俊二 著

李先源 石景魁 译

刘时衡 校

责任编辑 李树岭

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

广 益 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1988年2月 第一版
印张：16 16/32页数：264 1988年2月北京第1次印刷
字数：433 千字 印数：1—4 000册

ISBN 7115-03453-2/TN

定价：4.10元

推荐者的话

以发展用户电话和完成全国性自动拨号为目标,实施五个五年计划之后,目前日本的电话用户数已超过4 000万,电信业务在人们生活中已必不可少,并在提高社会经济效益中起到重要作用。

这期间,电信网中由于采用了同轴电缆通信方式和纵横制交换机,实行了一系列的技术改造,因而形成了不论在质还是在量方面都获得了很大发展的现代化的通信系统。在构成通信网的大量设备中,传输线路的费用所占比例很大,甚至可把通信技术的发展史视为主要是降低传输线路的造价史。其中,以同轴电缆为代表的传输线路之多路复用的开发工作就是最著名的例子。

现代的电信业务与以往的电信业务相比,除了要进一步开展多种形式的电话服务以外,还应大力发展传真、数据、图象传输等非电话业务。这是适应国民需要的发展方向的。为此,要改善通信网的经济特性和提高其传输功能,就需建立以数字传输为基础的高质量信息网络系统,为此,人们迫切地期待着使用新型传输介质(光缆)的光通信方式实用化。

光纤通信方式包括许多新技术,近年来已取得了惊人的进展,日本电报电话公司经过两次实用化试验,从1981年起,32 Mb/s和100 Mb/s的中容量传输系统已开始在全国范围内商用。

据信光纤通信方式不只是适用于公用通信,也适用于所有通信领域,在这样的背景条件下发行本书,按照最新资料从基本知识到实用系统详细介绍光缆传输技术,的确适合时宜。阅读本书将可使您眼界更阔、知识更丰富。

日本电报电话
公司副总裁 北原安定

1981.11.

序 言

1960 年发明激光器以后,使光应用在通信中有了可能,而 1970 年出现的低损耗光纤,使光在通信中的应用产生了新的飞跃。

光缆具有频带宽、损耗低、重量轻与直径细等许多优点,适于传输信息,用激光器和光缆组成的新型传输系统正发展成为划时代的信息传输手段,应用领域十分广泛。

国内外的电信研究部门,都正在广泛、急速地研究光缆传输技术,其中日本电报电话公司的科研、实用成果在国际上得到了高度评价。

光缆传输方式今后的主要研究课题,除了进一步提高半导体光器件的寿命、性能和制作组件以及降低光纤损耗、提高带宽、确立经济的制造方法以外,适合于光纤传输的调制技术、中继器的构成技术、波分复用技术、损耗增大不多的成缆技术和多根光纤连接技术也是重要的研究课题。

日本电报电话公司电气通信研究所已取得了许多研究成果,其中包括工作在短波长、 $1.3\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ 长波长的长寿命半导体激光器;在世界上最先实现的,利用长波长的 $0.2\ \text{dB/km}$ 的低损耗光纤;发明了连续而且经济地制作大型预制棒的方法等。

在研究光传输用的硬件的同时,电报电话公司还致力于低速数据线路到 $1\ \text{Gb/s}$ 以上的超高速光缆传输方式的实用化研究,并取得了实际成果。

现在,电报电话公司的 $32\ \text{Mb/s}$ 和 $100\ \text{Mb/s}$ 中容量光缆传输系统已在全国范围内进入商用,正式运用长波长区在世界上也是首次。与此同时,公司的研究所正就大容量传输系统、用户系统、海底传输系统进行实用化研究。

光纤传输技术不仅用于公用通信网，在产业界的各种控制系统、计算机间的布线系统等方面也得到广泛应用，还期待着对社会经济的发展起积极作用。

在这样的时代，作者们以电报电话公司的技术为中心编著本书正是时机，很有意义。

日本电报电话公司 山口开生
常务理事总工程师

1981年11月

主 编 的 话

从松前、篠原两位博士提出无负载电缆传输方式开始,经过许多先辈和多方面有关人员的共同努力,使日本的传输技术维持世界先进水平。

最近几年,又取得了新成果,使用同轴电缆作为传输线路的模拟传输系统 C-60 M (换算为 10800 路电话) 和数字传输系统 DC-400 M (400 Mb/s, 相当于 5760 路电话) 在世界上率先研制成功并实用化。这两种传输方式的实用对提高电信网的经济性和效率起到了重大作用。

本书介绍传输技术中划时代的新技术,即根据最新资料、从基本原理到具体应用举例详细介绍前景广阔的光缆传输系统。本书深入浅出,便于非光纤通信专业人员阅读。

全书共分八章。第一章介绍光通信发展史和光纤通信概要。第二章至第六章是本书的核心部分,首先介绍光缆和光器件,接着介绍系统构成方式、传输装置。第七章是光通信的应用,第八章介绍光纤通信使用的测量技术。读者若想了解光纤通信的概貌,建议首先阅读第一章和第七章。

本书的作者之一副岛俊雄是传输系统技术方面的专家,另一位作者贝渊俊二是通信电缆技术方面的专家,他们是光缆传输方式研究方面的指导者。通过作者们的努力,本书以简明的语言介绍最新的光缆传输技术,达到了预期的目的。

在大藏恭仁夫、江尻正义、高岛征二等人的大力协助下,本书第一版于 1978 年发行之后,在电报电话公司内外赢得了好评。现在光缆传输技术又有了很大发展,本次修订增加了这方面的新内容。此外,修订中还使通篇语言更为简洁、更加便于理解。修订过

程中得到了堀口考雄、岩崎匡利、三木哲也、高岛秀行、山下孚多方面的帮助。还蒙武藏野、横须贺、茨城三个研究所，日本电气、富士通、古河电工、住友电工、藤仓电线等公司提供了许多宝贵资料。电信技术新闻出版社的铃木先生在本书修订再版中也作了努力。借此对以上各方深切致谢。

日本电报电话
公司常务理事 前田光治

1981.11.

目 录

推荐者的话	日本电报电话公司副总裁	北原安定
序言	日本电报电话公司常务理事总工程师	山口开生
主编的话	日本电报电话公司常务理事	前田光治
1. 光纤通信概述		1
1.1 光纤通信历史		1
1.1.1 光在通信中的应用		1
1.1.2 激光器的发明		2
1.1.3 光纤的出现		5
1.1.4 半导体激光器的实用化		6
1.1.5 光缆传输方式的实用化		10
1.2 光的性质		10
1.2.1 光的产生		11
1.2.2 光的传播		13
1.3 光纤通信的基本组成		18
1.3.1 基本组成		18
1.3.2 光纤		19
1.3.3 调制与解调		21
1.3.4 光波段与光损耗		23
1.3.5 光纤的传输带宽		25
1.3.6 中继距离和传输速度		26
1.3.7 组成光纤通信系统的其它要素		26
1.4 光纤通信的特点和适用范围		27
1.4.1 光纤的适用性		28
1.4.2 在公用通信网中的应用		30
1.4.3 在其它通信方面的应用		32
参考文献		33

2. 光纤	35
2.1 光在光纤中的传播原理	35
2.1.1 光的基本现象	35
2.1.2 光纤中光的传播	41
2.1.3 表示光纤性质的参数	55
2.2 光纤的传输特性	62
2.2.1 光损耗	63
2.2.2 基带频率特性	69
2.2.3 传输特性的距离加和性	77
2.2.4 同金属导体电缆的差异	83
2.2.5 传输特性与光纤参数	84
2.3 光纤的机械特性	89
2.3.1 损伤与抗张强度	89
2.3.2 断裂寿命	92
参考文献	95
3. 光缆	97
3.1 光缆的制造	97
3.1.1 制造工艺	97
3.1.2 各种制造方法	103
3.1.3 资源的考察	115
3.2 光纤的成缆技术	118
3.2.1 光缆结构设计	119
3.2.2 光纤心线的保护	120
3.2.3 集束与成缆	121
3.2.4 各种光缆结构	124
3.3 光纤的接续	128
3.3.1 以往通信电缆的接续	129
3.3.2 光纤接续的设想	131
3.3.3 光纤的接续方法	139
3.3.4 光纤接续部的保护	145
3.4 光缆的测量	147

3.4.1	光纤参数的测量	148
3.4.2	传输特性的测量	163
参考文献		176
4. 光器件		179
4.1	光源	179
4.1.1	发光机理	179
4.1.2	通信中使用的光源	194
4.1.3	光源与光纤的耦合	218
4.1.4	半导体激光器和发光二极管的制作方法	223
4.2	光检测器	229
4.2.1	什么是光检测器	229
4.2.2	光电转换的原理	231
4.2.3	光检测器的主要种类和特点	235
4.2.4	通信用光检测器	240
4.2.5	与光纤的耦合	255
4.2.6	光检测器的制造方法	258
4.3	光纤连接器	261
4.3.1	光纤连接器必须具备的基本条件	262
4.3.2	光纤连接器产生损耗的原因	263
4.3.3	光纤连接器的种类	267
4.4	无源光器件	278
4.4.1	透镜	278
4.4.2	光定向耦合器	282
4.4.3	光分路并路器	285
4.4.4	光合波分波器	287
4.4.5	光衰减器	290
4.4.6	光开关	293
4.4.7	光调制器	297
4.4.8	光隔离器、光环行器	300
4.5	集成光路	304
4.5.1	什么是集成光路	304

4.5.2	构成集成光路的要素	305
4.5.3	集成光路与光纤的耦合方法	308
4.5.4	集成光路举例	309
参考文献		314
5.	光缆传输系统	323
5.1	光缆传输系统概况	323
5.1.1	传输系统的构成	323
5.1.2	光传输系统的基本要素	328
5.2	数字传输方式的设计	334
5.2.1	数字传输系统的特性评价	334
5.2.2	光传输系统的信噪比	334
5.2.3	中继距离的设计	343
5.2.4	各种 SNR 劣化因素	346
5.2.5	传输线路码	354
5.2.6	中继传输方式	359
5.3	模拟传输方式的设计	361
5.3.1	模拟调制方式	361
5.3.2	直接强度调制方式(直接 IM 方式)	362
5.3.3	预调 IM 方式	371
5.3.4	电视多路传输	376
5.4	波分复用传输方式	379
参考文献		383
6.	光缆传输装置	385
6.1	数字光传输装置	385
6.1.1	数字光传输装置的组成	385
6.1.2	基本电路	388
6.1.3	光局端中继装置	395
6.1.4	中间中继器	402
6.1.5	数据链路及数据总线	410
6.2	模拟光传输装置	418
6.2.1	模拟传输装置的概况	418

6.2.2	直接调制模拟传输装置	419
6.2.3	预调模拟传输装置	424
6.2.4	装置组成例	430
6.3	波分复用传输装置	434
6.3.1	装置组成概况	434
6.3.2	装置组成例	435
参考文献		443
7.	光纤通信的应用	447
7.1	光纤通信的应用范围	447
7.2	在公用通信网中的应用	448
7.2.1	局间传输线路中的应用	448
7.2.2	在海底传输线路方面的应用	451
7.2.3	用户方面的应用	453
7.2.4	局内的应用	457
7.2.5	在工业电视专用线路上的应用	458
7.3	专用通信系统的应用	460
7.3.1	在电力用通信上的应用	460
7.3.2	交通用通信上的应用	461
7.3.3	在 CATV 的应用	463
7.3.4	计算机系统及专用网	467
7.3.5	在广播、公安系统的应用	470
7.3.6	在移动体内系统的应用	472
参考文献		473
8.	光纤通信用测量仪表	475
8.1	测量对象和测量技术	475
8.2	光学测量仪表	477
8.2.1	光功率测量	477
8.2.2	光纤传输特性测量	481
8.2.3	反射光脉冲的测量	491
8.2.4	光纤损耗特性的测量	495
8.2.5	光波长测量	501

8.2.6	光源的光谱测量	504
8.2.7	测量装置使用的光源	507
8.2.8	其它	510
参考文献		511

1 光纤通信概述

1.1 光纤通信历史

1.1.1 光在通信中的应用

光引起了通信领域中的革命。在这场革命中起主导作用的是激光器和光纤。

半导体激光器的发光面积很小，通常只有几十万分之一平方毫米，它输出稳定而且方向性极好的光——激光，激光可以载运巨大的信息量。

直径大约 0.1 mm、象毛发一样细的玻璃丝，即光纤，它能够把激光传向远方并且损失光能很少（按目前的水平，传输 15 km 后约剩下一半）。

人们利用激光器和光纤的组合获得了光纤通信这样一个划时代的信息传输手段，在这种情况下，有人偏激地估计：现今的许多通信手段大概要进历史博物馆了。

用光作为传递信息的手段的设想大概可以追溯到人类开始控制光的时代。人类在实践中学会取火和使用工具的同时就获得了传递信息的光，即是说，火就是一种光。

开始，人们用点火的方式让同伴知道自己的位置，在有限的范围内传送最简单的信息，后来，人们不断努力，通过改变火光的形式（燃起烽火就是其中的一种）来增加传输的信息量，并且在传递信息的途中安排一些人接力来扩大传送信息的距离。通过将火光形式的变化联想到有光和无光，可使信息量增加许多。也可以说这就是

“数字通信”方式。

在发明了电致发光的自发辐射型电灯泡之后，更容易控制光的亮与灭了。在电信领域里的莫尔斯电码通信要按动电键，毫无疑问，我们可以用有光无光来代替按动电键。实际上，这种方式一直在船舶上应用。在山区，如果夜晚看到这样一种信号：一分钟内以 10 秒钟的间隔亮灯（有光），下一分钟灯不亮（无光），其意思是 SOS（呼救信号）。当对方又在头一分钟内以 20 秒钟的间隔亮灯，下一分钟内不亮灯的方式送回信号，则表示确认了 SOS 信号。直到如今，这种办法也仍然是作为山岳救援规则来使用的一种通信联络方式。

使用现代技术进行光通信的历史可以追溯到 1880 年，这一年，电话机的发明者贝尔进行了光电话实验。他以阳光作光源、用硒晶体作光接收器件，成功地进行了距离达几百米远的大气传输通信实验。⁽¹⁾

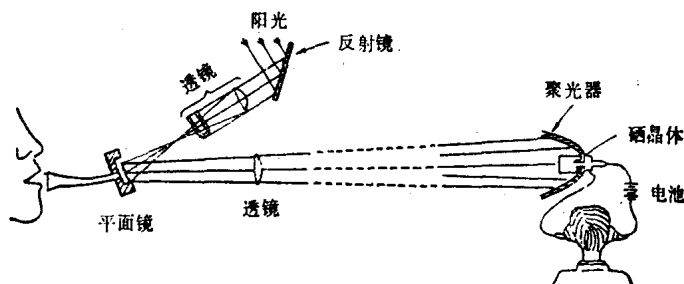


图 1.1 贝尔的光电话实验系统 (1880 年)

1.1.2 激光器的发明

1960 年，梅曼发明了红宝石激光器⁽²⁾，人们获得了性质与电磁波相同且频率和相位都稳定的相干光，从此真正进入了研究近代光通信的时代。

激光 (LASER) 是取英文 Light Amplification by Stimulated

Emission of Radiation 的第一个字母组成的缩写词，其意思是受激发射的光放大。顾名思义，这种光跟古往今来加热某种物质（升火、点燃钨丝灯等）所产生的光不一样，它是由物质原子结构的本质决定的光，曾期待它与已使用的电磁波有类似的应用。光波的频率约为 10^{14}Hz ，是与频率为 10^{10}Hz 左右的微波或 10^{11}Hz 左右的毫米波不同量级的高频电磁波。如果激光得到应用，从理论上说，将会出现比微波通信容量要大一万倍的超大容量通信。而电灯和荧光灯等光源发出的光，频率和相位是杂乱的，从某种意义上说是噪声性的非相干光，不能运用于这种大容量的通信。但是，通信技术的发展方向是要不断开拓更高频率和探索更大容量的通信方式。不论是从技术发展方向来看还是从研究毫米波时期希望开拓更高的频率来说，激光器的发明都对通信领域的科研人员产生了重大影响。

除红宝石一类的固体激光器研制成功以外，后来采用不同材料制成了发光波长不同的激光器，He-Ne 气体激光器就是其中的一种。此外，美国贝尔研究所的巴丁和日本东北大学的西泽分别于 1953 年、1957 年指出有可能利用半导体的 Pn 结获得激光。1970 年，贝尔研究所的林严雄成功地研制出能在室温下连续工作的半导体激光器⁽³⁾。这种器件的体积只有米粒大小，可以直接用电流调制。因此，半导体激光器成了现阶段光通信采用的主要光源。

按照传输介质的不同，光通信分为大气传输方式、光学透镜波导传输方式和光缆传输方式。

由于大气传输实验最简便，所以最早开始研究的就是这种方式。例如，日本电报电话公司电信研究所在东京霞关大厦第 30 层楼和大手町电话局等地之间从 1970 年起进行了几年的传输实验⁽⁴⁾。实验用 He-Ne 气体激光器和发光二极管作为光源。

在其它国家，也有用二氧化碳激光器作为光源进行实验的。但是，光的传输损耗在很大程度上要受气象条件限制，为了在大雾天或雪天都能保证稳定可靠，必须每隔 0.5 km 左右设立一个中继站。