



现代光通信技术丛书

# 光纤通信有/无源器件 工作原理及其工程应用



胡先志 等 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

现代光通信技术丛书

# 光纤通信有/无源器件 工作原理及其工程应用

胡先志 等编著

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信有/无源器件工作原理及其工程应用 / 胡先志等编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2011.9  
(现代光通信技术丛书)  
ISBN 978-7-115-22164-3

I. ①光… II. ①胡… III. ①光纤通信 IV.  
①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第003804号

## 内 容 提 要

本书系统而全面地介绍了构建光纤通信网络的各种器件的原理、性能与应用。其阐述的主要内容有: 光波导理论, 光纤性能及特点, 光源、光电检测器、光放大器、光连接器、光耦合器、光滤波器、光隔离器、光环形器、光衰减器、光波分复用器、光分插复用器、光交叉连接器、光开关、光波长转换器等器件的原理、性能和应用。

本书内容新颖, 书中所介绍的构建光纤通信网络的各种器件的原理、性能和应用内容都取材于国内外光纤通信领域中的最新研究成果。书中既简单阐述了光纤通信的基本原理、各种器件的工作原理和主要性能, 又详细介绍了各种器件在光纤通信网络中的具体应用实例, 理论与实际相结合。

本书既可供光纤通信领域的工程技术人员参考, 也可以作为高等院校光电子技术、光信息科学、通信工程与技术和电子信息工程专业的本科生和研究生专业课教材。

现代光通信技术丛书

### 光纤通信有/无源器件工作原理及其工程应用

◆ 编 著 胡先志 等  
责任编辑 梁 凝

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 18.5

字数: 388千字

印数: 1-3000册

2011年9月第1版

2011年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22164-3

定价: 59.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



## 前 言

光纤通信是以激光作为信息载体，以光纤作为光信息传输介质的通信方式。由于激光具有的优异相干性，光纤固有的巨大带宽，光纤通信已经广泛应用于长途干线网络、城域网、接入网，现在正在逐步向着光纤到户发展。

1966年7月高锟博士和 **Georgo.A.Hockham** 共同提出光纤通信的概念。他们在英国电气工程师协会会议上发表了一篇著名的论文——《光频介质纤维表面波导》。该论文明确指出，通过改变制造工艺，减少原材料杂质，可以制造出衰减小于  $20\text{dB/km}$  的通信用石英玻璃光纤。

1970年，美国康宁玻璃公司的 **Maurer** 等人首次研制出了阶跃折射率分布的多模光纤，其在波长为  $633\text{nm}$  处的衰减系数小于  $20\text{dB/km}$ 。同年，美国贝尔实验室的 **Hayashi** 等人研制出了可在室温下连续工作的 **GaAlAs** 双异质结半导体激光器。由于激光器产生的是相干光，光频非常单纯，具有线状谱线，光能集中，发散角很小，近似于平行光，且体积小、易调整，可作为光纤通信的光源。光纤以其具有的巨大带宽、极小衰减、不受电磁场干扰等优点作为光信息传输介质，长寿命半导体激光器和低损耗石英玻璃光纤的研制成功在通信领域中掀起了一场技术革命，拉开了光纤通信的序幕，使得持续了200年之久的电（缆）通信方式转变为光（纤）通信方式。

1976年，世界上第一个传输速率  $44.736\text{Mbit/s}$ 、传输距离  $110\text{km}$  的光纤通信系统在美国成功地投入现场实用化试验。这标志着光纤通信技术向实用化迈出了第一步。1977年这个试验系统通过全面性能测试后，美国 **AT&T** 贝尔实验室的科学家在电话公司的公共交换网成功向用户提供语音、数据和图像全业务通信。这个系统成为世界上第一个光纤通信实用系统。

20世纪80年代，为了延长传输距离、提高传输容量，人们开展了进一步降低光纤衰减，消除光纤模间色散以及开发长波长激光器的研究。通过改进原料提纯工艺、完善制造工艺、改变光纤几何尺寸和调整光纤折射率分布等方法，研制出了工作波长在  $1550\text{nm}$  附近、衰减系数仅为  $0.2\text{dB/km}$  的单模光纤，实现了由多模光纤向单模光纤的演变。单模光纤既降低了衰减系数又消除了光纤的模间色散，进而达到了延长传输距离和提高传输容量的双重效果。与此同时，激光器的研究也实现了由短波长向长波长的转变。

1989年，英国南安普顿大学的 **Payne** 等人成功地研制出掺铒光纤放大器。掺铒光纤放大器具有对所传输的不同速率和不同信号格式的光信号透明的特性，可以实现光信号的直接放大，而且其放大光信号的波长为石英玻璃光纤衰减系数最小的  $1550\text{nm}$  波段，所以掺铒光纤放大器可以延长系统传输距离。掺铒光纤放大器替代光—电—光中继器实现了全光传输，使得光纤通信系统大为简化，整个系统的成本大大降低。掺铒光纤放大器的发明是标志光纤通

信技术进步的又一个里程碑。掺铒光纤放大器具有的直接对光信号的透明放大特性，为实现超长距离的洲际及跨洋的陆地和海底光纤通信奠定了技术基础。众所周知，通信容量（带宽）是以传输速率来度量的。但是掺铒光纤放大器在延长了系统传输距离提高传输速率的同时，出现了引起码间干扰的色散和色散斜率问题。为了解决这些限制高速传输的色散问题，研究人员先后开发了可以有效降低光纤色散和色散斜率的色散补偿光纤、光纤光栅等光纤器件。

20 世纪 90 年代，随着因特网的迅速发展，世界进入了信息时代。信息时代的标志是人们对语音、数据和图像通信的依赖程度日益增长。为了满足数据业务和宽带多媒体业务迅速增长的需求，光纤通信系统的研究重点定位在高速率和大容量。尽管掺铒光纤放大器和色散补偿光纤可以实现长距离、高速率的光纤通信，但是受电子器件响应速率的限制，光纤通信系统的单信道速率小于 40Gbit/s。在此背景下，人们将提高系统容量的研究由提高单信道速率转向增加波长数的密集波分复用技术的研究。波分复用技术的核心是，在不提高传输速率的情况下，通过增加光纤中的传输波长数来达到提高系统传输容量的目的，从而规避了电子器件响应速率的限制问题。利用简单的密集波分复用器可以使单根光纤的传输容量提高几十乃至上百倍，同时大幅度地降低了系统成本，进一步减少了系统的日常运行和维护费用。密集波分复用系统对业务速率和信号格式是透明的，可以实现波长路由，建立透明、灵活、高可靠性的光纤通信网络。因此，密集波分复用技术是光纤通信技术领域中的又一次技术飞跃。

为了编织一个四通八达、安全而健壮的光纤通信网，满足网络拓扑由链形向环形和网状发展的需要，研究人员不断地开发出可以构建光网络的器件，如光分插复用器、光交叉连接器、光开关等。利用光纤放大器、波分复用器可以构建链形长途干线光通信网络，而在光网络中采用光分插复用器、光交叉连接器、光开关可以在光层实现光信号的传输、复用、交换和选路功能，构建灵活、透明的光网络。

进入 21 世纪后，人们将如何提高已经构建的庞大光网络的安全可靠、动态重构和智能控制功能作为研究重点。自动交换光网络就是能够实现高度智能控制的光网络。自动交换光网络的诞生实现了网络由静态向动态的技术革命。自动交换光网络研究思想是，为了使复杂的光网络结构变得简单和扁平化，将光网络的控制与管理功能分离，通过控制平面的信令、路由和自动发现机制实现连接的自动建立、维护和删除，通过网络的智能功能使服务质量保证和流量工程的特征十分明显，可以支持带宽按需分配、光虚拟专用网、组播等新业务的需求。由于自动交换光网络实现了光网络功能控制由静态向动态的转变，所以自动交换光网络是光网络发展的主流方向。可以预测，未来的光网络可以实现从长途干线网、城域网到接入网的全程智能化控制。

综上所述，光纤通信技术进步的过程是光纤、器件、系统不断地推陈出新的过程，是光纤、器件、系统三者之间相互促进和共同进步的过程。正是新光纤、新器件产品的不断问世，一次又一次引起了光纤通信技术革命。因此，只有掌握了光波导原理、光纤性能、器件原理、系统组成和网络结构，才能真正体会到光纤通信技术的优势所在以及其今后的研究发展方向。

本书是一本全面阐述光纤通信基本原理，光纤通信有/无源器件的基本理论、工作原理、关键技术、性能特点和工程应用的专著。作者在阅读了介绍光纤通信器件技术领域最新成果的书刊文献的基础上，总结自己多年从事光纤通信研究和教学工作的实践经验，结合我国的具体国情编著此书，力求做到内容新颖、技术先进、实用方便。

作者在书中引用了众多光纤通信专家的研究成果，也参考了一些最新出版的图书、期刊和国内外最新标准，从而使本书的内容能够充分反映光纤通信器件及其工程应用的当今水平。

由于本书作者水平有限，书中难免存在一些错误和不足，恳请读者批评指正。

作者

# 目 录

第 1 章 光纤通信概论 .....	1
1.1 通信技术的发展历程 .....	1
1.1.1 原始光通信 .....	1
1.1.2 电通信 .....	1
1.1.3 光纤通信 .....	3
1.2 信号及其处理 .....	4
1.2.1 消息、信息和信号 .....	4
1.2.2 信号的形式 .....	4
1.2.3 信道复用 .....	6
1.2.4 调制格式 .....	10
1.3 信号传输 .....	11
1.3.1 波长、频率和频率间隔 .....	11
1.3.2 带宽和容量 .....	12
1.3.3 光功率度量和光损耗度量 .....	13
1.4 通信系统 .....	14
1.4.1 通信系统的组成 .....	14
1.4.2 通信系统的分类和对比 .....	14
1.4.3 通信系统的主要性能 .....	16
1.5 光纤通信系统 .....	18
1.5.1 光纤通信系统的组成 .....	18
1.5.2 光纤通信技术的进步 .....	19
1.6 光纤通信中的光器件 .....	22
1.7 光网络 .....	24
1.7.1 光网络的结构 .....	24
1.7.2 组网元件 .....	25
1.7.3 光网络的发展 .....	26
参考文献 .....	29

<b>第 2 章 光波导理论</b> .....	31
2.1 光纤的结构 .....	31
2.2 光波导理论分析 .....	32
2.2.1 研究方法 .....	32
2.2.2 射线光学理论 .....	33
2.2.3 波动光学理论 .....	38
2.2.4 单模光纤 .....	44
参考文献 .....	48
<b>第 3 章 光纤</b> .....	49
3.1 光纤的特点 .....	49
3.2 光纤的分类 .....	51
3.3 通信用多模光纤 .....	52
3.3.1 多模光纤的结构 .....	52
3.3.2 多模光纤的分类 .....	53
3.4 通信用单模光纤 .....	55
3.4.1 单模光纤的结构 .....	55
3.4.2 单模光纤的分类 .....	56
3.5 塑料光纤 .....	67
3.5.1 塑料光纤的材料 .....	67
3.5.2 塑料光纤的性能 .....	68
3.6 光器件用光纤 .....	71
3.6.1 色散补偿光纤 .....	71
3.6.2 掺杂稀土元素光纤 .....	74
参考文献 .....	75
<b>第 4 章 光纤的传输性能</b> .....	77
4.1 衰减 .....	77
4.1.1 定义 .....	77
4.1.2 衰减谱 .....	77
4.1.3 衰减机理 .....	78
4.2 色散 .....	81



4.2.1 分类 .....	81
4.2.2 色散系数 .....	82
4.3 偏振模色散 .....	86
4.4 非线性效应 .....	89
4.4.1 受激散射 .....	89
4.4.2 折射率扰动 .....	91
参考文献 .....	96
<b>第 5 章 光器件使用的材料及功能 .....</b>	<b>97</b>
5.1 光器件用材料的类型 .....	97
5.1.1 半导体材料 .....	97
5.1.2 非半导体晶体材料 .....	98
5.1.3 其他材料 .....	98
5.2 光器件用材料的特性 .....	100
5.2.1 折射率 .....	100
5.2.2 工作波长 .....	101
5.2.3 非线性效应 .....	101
5.2.4 偏振效应 .....	101
5.3 半导体的性能 .....	102
5.3.1 发光 .....	102
5.3.2 辐射 .....	102
5.3.3 粒子数反转 .....	103
5.3.4 能带理论 .....	104
5.3.5 掺杂作用 .....	105
5.3.6 PN 结 .....	106
5.4 光器件的功能 .....	108
参考文献 .....	109
<b>第 6 章 光源 .....</b>	<b>111</b>
6.1 光源概述 .....	111
6.2 发光二极管 .....	112
6.2.1 所用材料 .....	112
6.2.2 基本结构 .....	113

6.2.3	工作原理 .....	115
6.2.4	工作特性 .....	116
6.2.5	选用 .....	118
6.3	激光器 .....	119
6.3.1	所用材料 .....	119
6.3.2	基本结构 .....	120
6.3.3	工作原理 .....	122
6.3.4	典型的激光器 .....	122
6.4	激光器工作特性 .....	132
6.4.1	工作波长 .....	132
6.4.2	光谱特性 .....	133
6.4.3	光强分布 .....	133
6.4.4	输出光功率 .....	134
6.4.5	温度特性 .....	134
6.5	光源的选用 .....	135
6.6	光源的调制 .....	136
6.6.1	调制的分类 .....	136
6.6.2	光调制器 .....	138
6.6.3	可调制激光器 .....	140
	参考文献 .....	141
<b>第 7 章</b>	<b>光放大器 .....</b>	<b>143</b>
7.1	光放大器概述 .....	143
7.2	光放大器的分类 .....	144
7.3	光放大器的工作波段 .....	145
7.4	光放大器的工作特性 .....	147
7.4.1	功率放大 .....	147
7.4.2	增益饱和 .....	147
7.4.3	放大器噪声 .....	148
7.5	典型的光放大器 .....	149
7.5.1	掺铒光纤放大器 .....	149
7.5.2	拉曼光纤放大器 .....	161
7.5.3	半导体激光放大器 .....	167

7.6 光放大器的性能比较 .....	170
参考文献 .....	173
<b>第 8 章 色散补偿器件 .....</b>	<b>174</b>
8.1 光纤的色散 .....	174
8.2 色散补偿技术 .....	181
8.3 色散补偿器件 .....	182
8.3.1 色散补偿光纤模块 .....	182
8.3.2 啁啾光栅色散补偿模块 .....	189
8.3.3 高阶模光纤色散补偿模块 .....	191
8.3.4 可调色散补偿器件 .....	192
8.3.5 色散补偿器的性能比较 .....	195
8.4 偏振模色散补偿器 .....	196
8.4.1 偏振模色散补偿的意义 .....	196
8.4.2 偏振模色散补偿的方法 .....	198
参考文献 .....	204
<b>第 9 章 光电检测器 .....</b>	<b>205</b>
9.1 光电检测器概述 .....	205
9.1.1 光电检测器的作用 .....	205
9.1.2 光电检测器的基本概念 .....	205
9.1.3 光电检测器的分类 .....	207
9.2 PIN 光电二极管 .....	208
9.2.1 PIN 光电二极管的结构 .....	208
9.2.2 PIN 光电二极管的工作原理 .....	209
9.2.3 PIN 光电二极管的工作特性 .....	210
9.3 雪崩光电二极管 .....	211
9.3.1 雪崩光电二极管的结构 .....	211
9.3.2 雪崩光电二极管的工作原理 .....	212
9.3.3 雪崩光电二极管的工作特性 .....	213
9.4 其他类型的光电检测器 .....	213
9.5 光电检测器的工作特性 .....	214
9.5.1 响应度 .....	215

9.5.2	暗电流 .....	215
9.5.3	带宽 .....	216
9.5.4	响应线性度 .....	217
9.5.5	编码和调制 .....	217
9.5.6	信号质量 .....	218
	参考文献 .....	219
<b>第 10 章</b>	<b>光波长转换器 .....</b>	<b>221</b>
10.1	光波长转换器概述 .....	221
10.2	典型的波长转换器 .....	221
	参考文献 .....	224
<b>第 11 章</b>	<b>波分复用器 .....</b>	<b>226</b>
11.1	波分复用器概述 .....	226
11.2	波分复用器的分类 .....	226
11.3	光纤熔锥波分复用器 .....	227
11.3.1	工作原理 .....	227
11.3.2	性能指标 .....	229
11.4	反射光栅型波分复用器 .....	229
11.4.1	工作原理 .....	229
11.4.2	性能指标 .....	230
11.5	多层介质膜型波分复用器 .....	231
11.5.1	工作原理 .....	231
11.5.2	性能指标 .....	232
11.6	阵列波导光栅型波分复用器 .....	234
11.6.1	工作原理 .....	234
11.6.2	性能指标 .....	235
	参考文献 .....	236
<b>第 12 章</b>	<b>光开关 .....</b>	<b>238</b>
12.1	光开关概述 .....	238
12.2	光开关的工作原理 .....	239
12.2.1	机械光开关 .....	239

12.2.2 固体波导光开关 .....	240
12.2.3 其他原理光开关 .....	242
参考文献 .....	244
<b>第 13 章 光分插复用器 .....</b>	<b>246</b>
13.1 光分插复用器概述 .....	246
13.2 光分插复用器的结构 .....	247
参考文献 .....	250
<b>第 14 章 光交叉连接器 .....</b>	<b>252</b>
14.1 光交叉连接器概述 .....	252
14.2 光交叉连接器的工作原理 .....	253
14.3 光交叉连接器的结构 .....	254
参考文献 .....	258
<b>第 15 章 常用的无源光器件 .....</b>	<b>259</b>
15.1 光网络概述 .....	259
15.2 光器件的基本性能参数 .....	260
15.2.1 插入损耗 .....	260
15.2.2 回波损耗 .....	260
15.2.3 偏振相关损耗 .....	260
15.2.4 消光比 .....	261
15.2.5 隔离度 .....	261
15.3 光纤连接器 .....	262
15.3.1 光纤连接器概述 .....	262
15.3.2 光纤接续的损耗 .....	263
15.3.3 光纤活动连接器 .....	264
15.4 光衰减器 .....	267
15.4.1 光衰减器的分类 .....	267
15.4.2 光衰减器的性能及应用 .....	268
15.5 光隔离器 .....	270
15.5.1 光隔离器的分类及工作原理 .....	270
15.5.2 光隔离器的性能和应用 .....	272

15.6 光环形器.....	273
15.6.1 光环形器的工作原理 .....	273
15.6.2 光环形器的性能及应用 .....	274
15.7 光耦合器.....	276
15.7.1 光耦合器的分类 .....	276
15.7.2 光耦合器的性能 .....	277
参考文献.....	281

# 第 1 章 光纤通信概论

## 1.1 通信技术的发展历程

通信的目的是实现信息的传输和交换。信息通过语音、数据和图像等消息来表示。消息是由信源产生的。消息的载体是信号，如电信号、光信号等。通信是以信号的形式将消息由一方传送到相隔几千米甚至数千千米的另一方。

### 1.1.1 原始光通信

光通信可以追溯到中国古代烽火台传递信息的通信方式。这种通信方式是以浓烟和火光为信息，以大气为传输介质，利用人的视觉获得信息。尽管视觉光通信方法简单，但是其效率比驿使通信要高得多。

欧洲原始的光通信思想以信号灯、信号旗和其他旗语装置为应用形式，一直延续至 18 世纪末。1792 年，法国的 Claude Chappe 依据原始的光通信思想发明了光电报。光电报利用在茅舍中安装的信号塔来传输编码信息。信号塔由一个长旋转杆和杆顶横梁上的两个小旋转臂组成。Claude Chappe 通过长旋转杆和小旋转臂的角度变化组合，采用中继站的方式实现了大约 100km 的长距离信息传输。1794 年 7 月，第一个光电报系统在法国相距 200km 的巴黎与里尔正式投入运行。

自 1794 年光电报在法国投入使用直到 1881 年最后三个瑞典光电报塔废弃，光电报网络遍及整个欧洲，持续工作了近一百年之久。光电报存在着许多缺陷：①只能在晴朗的白天工作；②信号塔建设和维护费用高；③操作人员需要进行专门训练；④传递的信息内容少且传输速度小于 1bit/s；⑤所传输的是可见编码信息，极易被各个中继站窃听。因此，当时光电报业务仅用于传送政府公文，并没有给普通市民的日常生活带来什么益处。

### 1.1.2 电通信

1837 年，美国的 Morse 发明了有线电报。电报通信将发报人需要发送的文字变成电信号，通过电路迅速传送到远方，然后再恢复为文字，交付给收报人。电报以其传输速率和传输距离的优势替代了原始光通信。这就意味着，电报的发明之日就是通信进入电信时代之时。

与原始的光通信相比，电报的优点体现在传输速率高和传输距离长上。具体地讲，电报

通过采用新的编码技术（如 Morse 码）使传输速率提高到大约 10bit/s，而且使用中继站方法可以使通信距离超过 1 000km。电报的发明既提高了信息传输速率又缩短了人们之间的距离，在改变了人们生活方式的同时，推动了人类文明的进步。

电报传送的是符号，收发双方需要进行编/译码工作。编/译工作既是一项简单枯燥的重复劳动，又不能使通信的双方及时进行直接的信息交流。为了弥补电报存在不能直接交流的缺陷，1876 年，美国的 Bell 发明了有线电话。电话是一种能够直接传送通信双方声音的通信方式。正如 Bell 写给他母亲的信中所述，电话可以使各自在家的朋友彼此直接交谈。电话通信解决了通信业务的实时性问题。电话是以传输连续变化的模拟电信号（电流）进行通信的。自电话发明以后，模拟电通信技术一直是通信领域的主流技术。

进入 20 世纪之后，随着世界电话网络的发展，人们在提高电通信系统容量方面取得了一系列的技术进步。例如，利用同轴电缆代替铜对绞线可以使电通信系统容量得到明显的提高。20 世纪 40 年代，第一个同轴电缆电通信系统投入运行。这个传输容量为 3MHz 的电通信系统可以传输 300 个话路或一个电视信道。当传输频率超过 10MHz 时，高频率超高速度的同轴电缆损耗很大，从而限制了电通信系统的容量（带宽）。

为了解决由于高频率引起的电缆损耗增大，从而限制电通信系统容量的问题，人们又研制出了微波通信系统。微波通信系统通过利用合适的调制技术，以频率范围为 1~10GHz 的电磁载波来传输电通信信号。1948 年，第一个载波频率为 4GHz 的微波通信系统投入运行。此后，同轴电缆通信系统和微波通信系统得到了长足发展，两种通信系统的传输速率都可以达到 100Mbit/s。1975 年，最先进的同轴电缆电通信系统投入运行，该系统的传输速率为 274Mbit/s。

众所周知，在通信技术中，我们常用通信系统的传输速率  $B$  和中继距离  $L$  的乘积  $BL$  来表示通信系统的容量。因此，提高通信系统容量有两个研究方向：一是提高传输速率，二是延长中继距离。高速同轴电缆电通信系统的中继距离大约为 1.6km，系统的运营成本相对比较高。虽然微波通信系统的中继距离可达 10km 左右，但是其传输速率受载波频率的限制。由于受传输介质和载波频率的限制，电通信系统的容量直到 1970 年只有 100Mbit/s · km。表 1-1 列出了几种常用的传输介质的特性。由表 1-1 可以得知，铜对绞线、同轴电缆、微波波导的带宽和中继距离十分有限。为此，人们一直在积极寻找新的传输介质和新的信号载波。

**表 1-1** 几种常用的传输介质的特性

传输介质	载波	带宽 (MHz)	衰减系数 (dBkm)	中继距离 (km)
铜对绞线	电磁波	6	20 (4MHz)	1~2
同轴电缆	电磁波	19	15 (460Hz)	1.6
微波波导	电磁波	40~120	2	10



### 1.1.3 光纤通信

针对铜对绞线、同轴电缆和微波波导通信技术中存在的传输损耗大、信号串扰、电磁干扰等问题，人们一直在寻找相干光源和合适的传输介质，以达到进一步提高通信系统容量的目的。

1958年，Arthur L Schawlow 等人发明了激光器，并在美国的《物理综述》上发表了题为《红外区和光激励器》的论文。论文阐述了激光器的受激辐射光放大的基本原理，从而开创了一个崭新的科学领域。

1960年，美国科学家梅曼研制出了红宝石激光器和氦-氖激光器。激光是一种光谱谱线很窄、方向性极好、频率与相位高度一致的相干光，是一种可以为通信使用的理想的光载波。

1966年7月，在英国标准电信实验室工作的华裔科学家高锟和 George A Hockham 根据激光携带的信息容量是最高的无线电携带的信息容量 10 000 倍的事实，提出了介质波导理论和光纤通信的概念。高锟预言，只要在光纤制造中消除原料中的各种杂质，制造出衰减为 20dB/km（即 99% 的光功率都被损耗在所传输的 1km 距离上）的光纤就可以实现用光纤通信的目标。

1970年，美国康宁公司的 Robert D Maurer 等人利用提纯和气相沉积方法制造出了阶跃折射率分布的多模光纤，其在波长为 850nm 处的衰减系数为 20dB/km。该光纤有望成为一种理想的传输介质。同年，美国贝尔实验室的 Hayashi 等人研制出了在室温下可以连续振荡的 GaAlAs 双异质结注入式激光器。

理想的传输介质——低衰减石英玻璃光纤和理想的光载波——结构紧凑的激光器的诞生，推动了世界各国积极开展光纤通信系统的研究。在经历了 30 多年的研究后，2007 年实验室已经实现的密集波分复用光纤通信系统的最高技术水平是单信道传输速率 80Gbit/s、传输距离 2 550km、波分复用信道数为 160、系统最大容量 12.8Tbit/s（80Gbit/s×160）。如图 1-1 所示，在电通信向光通信发展的过程中，通信系统的容量得到不断提高。光纤通信以

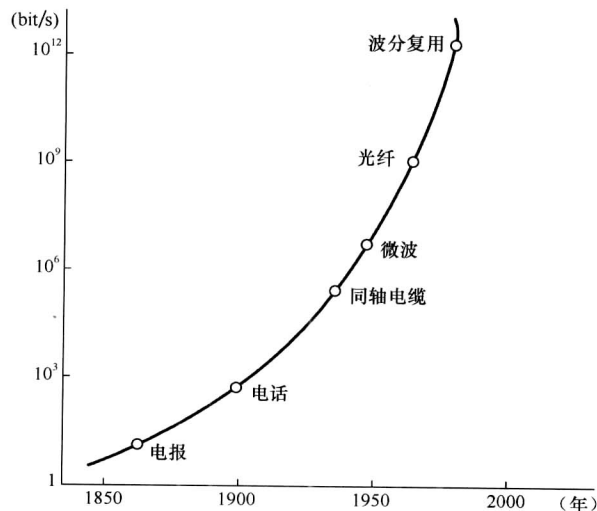


图 1-1 新的通信技术促使通信系统的容量增大