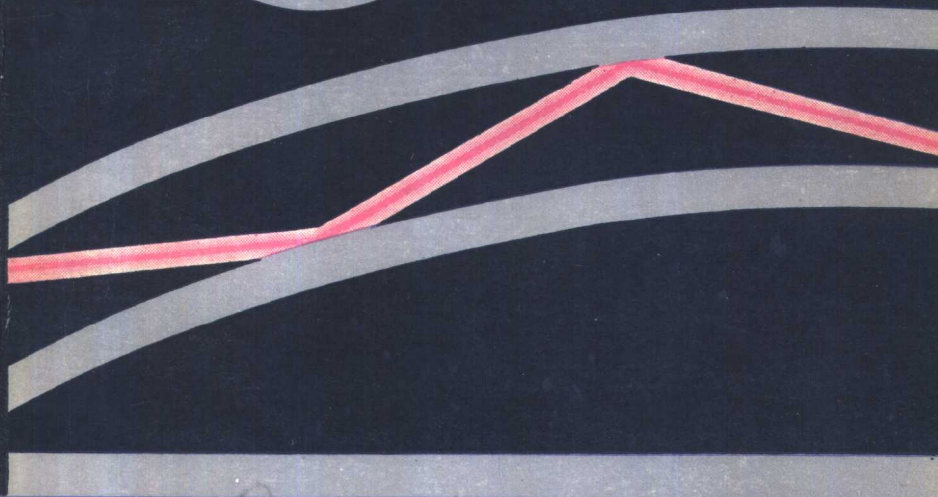
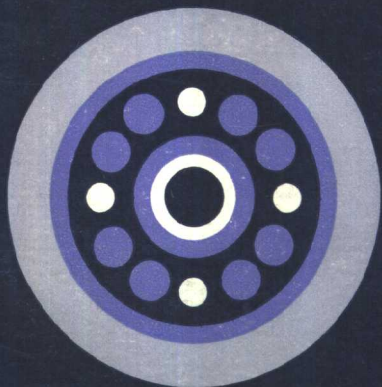


通信技术普及丛书



激光通信

邮电部武汉邮电科学研究院编写组 · 人民邮电出版社

电信技术普及丛书

激 光 通 信

邮电部武汉邮电科学研究院编写组

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书着重介绍激光通信总的概念和基础知识。在讲述有关光的知识
和激光基本特点之后,依次介绍激光的产生、调制、激光信号的接收以及
光纤的传光原理和其他有关问题。在此基础上,讨论了激光大气传输
通信系统和光纤通信系统。最后简述了集成光路和激光通信的发展。

电信技术普及丛书

激 光 通 信

邮电部武汉邮电科学研究院编写组

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32 1978年12月第一版

印张: 7 28/32 页数: 126 1979年2月天津第一次印刷

字数: 177千字 印数: 1—31,000册

统一书号: 15045·总2274—无656

定价: 0.65 元

出 版 说 明

为了帮助广大邮电职工学习电信新技术知识，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，我们编辑出版了《电信技术普及丛书》。

编写这套丛书的指导思想是：以马列主义、毛泽东思想为指针，努力运用唯物辩证法，密切结合三大革命运动的实际，力求做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂，适合具有一些电信基本知识的邮电职工阅读。但限于我们的水平，离这些要求还有不少差距，恳切希望广大读者提出批评和建议。

一九七八年七月

前 言

激光科学技术是六十年代开始发展起来的最活跃的科学技术领域之一。它和原子能的利用、电子计算机技术、空间科学技术等新兴学科一样，对高速度发展整个科学技术和整个国民经济，有着十分重要的影响。

激光通信是激光技术应用的一个重要方面，它包括激光大气传输通信和光纤维传输通信两种方式。其中光纤维多路通信是激光通信的发展方向。光的频率极高，可以利用的频带极宽，所以光纤维通信容量很大，理论上可以传送上亿路电话和近万路的彩色电视，是未来大城市市内通信和长距离、大容量数字化通信的主要方式之一。用玻璃材料制成的光纤维代替金属导线，可以节省大量有色金属，是对传统电信技术的重大变革。同时，光纤维通信还具有安全、保密、可靠、轻便以及敷设和维护方便等优点。研制和使用这种崭新的通信技术，对实现我国通信技术的现代化，赶超世界先进水平，具有重要意义。光纤维作为通信联络、程序控制监测、计算数据的传输介质，在工厂、矿山、油田、铁路、港口、机场、输配电等部门以及飞机、舰艇、坦克、导弹控制、人造飞船、高速电子计算机等方面，将得到广泛的应用。随着集成光路的发展，将会出现通信容量更大、中继距离更远的第二代激光通信机，出现计算速度更高的新一代光计算机。此外，激光技术的发展，也给广大青年科学爱好者，提供了一个把激光与电子技术结合起来的新的科学实验活动领域。

英明领袖华主席在全国科学大会上向我们发出了伟大的号召：“一定要极大地提高整个中华民族的科学文化水平。”华主席

在五届人大报告中还指出，要“加强激光理论和应用的研究”。这对我们是一个极大的鼓舞。我们担负着把激光技术应用于通信的科学研究任务，同时也有责任向广大群众普及科学技术知识。为此，我们特地编写了《激光通信》这本通俗的小册子，作为礼物，献给向四个现代化进军的广大工农兵群众和技术人员，献给热爱科学事业的广大青年。让我们团结起来，响应华主席的战斗号召：“树雄心，立壮志，向科学技术现代化进军。”

本书着重介绍激光通信总的概念和基础知识。在讲述有关光的知识和激光基本特点之后，依次介绍激光的产生，激光的调制，激光信号的接收，以及光纤的传光原理和其他有关问题。在此基础上，讨论了激光大气传输通信系统和光纤通信系统。最后简述了集成光路和激光通信的发展。

本书的编写是在我院党委直接领导和关怀下进行的，组织了工人、技术人员和干部参加的三结合编写组，发挥了集体的智慧和力量。在编写过程中，广泛征求意见，反复修改。力求深入浅出，通俗易懂，能更好地为工农兵服务。但由于我们水平所限，书中可能有不少的错误和缺点，诚恳地希望广大读者给予批评和指正。

邮电部武汉邮电科学研究院编写组

1978年3月

目 录

一、什么是激光通信	1
1. 从烽火台到激光通信	1
2. 怎样实现激光通信	3
3. 简单经济的大气传输光通信	5
4. 前途广阔的光纤维通信	7
5. 美妙的前景	11
二、光和激光	14
1. 什么是光	14
2. 光是怎样传播的	18
(1) 反射和折射	18
(2) 全反射	20
(3) 色散	21
(4) 散射	22
3. 光的干涉、衍射和偏振	23
(1) 干涉	23
(2) 衍射	26
(3) 偏振	27
4. 激光的特点	30
(1) 单色性好	31
(2) 相干性高	31
(3) 方向性强	33

三、激光是怎样产生的.....35

1. 从光源的发光到激光的产生.....35
 - (1) 原子的能级.....35
 - (2) 光的自发辐射、受激吸收和受激辐射.....37
 - (3) 粒子数反转与多能级激光物质.....40
 - (4) 激光的形成.....42
2. 光谐振腔的谐振特性.....45
 - (1) 光谐振腔的品质因数 Q45
 - (2) 激光器的阈值和最佳耦合输出.....47
 - (3) 光谐振腔的谐振条件和纵模.....48
 - (4) 光谐振腔的横模.....55
 - (5) 几种光谐振腔的结构.....58
3. 适于光通信用的几种激光器.....59
 - (1) 掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG) 激光器.....61
 - (2) 二氧化碳(CO_2) 激光器.....64
 - (3) 半导体激光器.....69
 - (4) 长波长半导体激光器.....77
 - (5) 非相干光源——发光二极管.....79

四、怎样把电信号加到光上去.....83

1. 通过改变电源进行直接调制.....83
 - (1) 发光二极管的调制.....83
 - (2) 注入式激光器的调制.....84
2. 利用电光晶体进行调制.....85
 - (1) 双折射.....86
 - (2) 利用双折射制成偏振器.....88

(3) 利用双折射改变偏振光的状态·····	90
(4) 线性电光效应·····	95
(5) 光强度调制·····	96
(6) 实际的光调制器·····	99
3. 磁光调制·····	104
五、怎样接收光信号·····	107
1. 光的两种接收方式·····	107
(1) 直接探测接收·····	107
(2) 外差探测接收·····	111
2. 光电探测器·····	113
(1) 光电倍增管·····	114
(2) 光电二极管·····	115
(3) 雪崩光电二极管·····	117
(4) 如何选择使用光电探测器件·····	118
3. 光通信接收系统中的噪声·····	119
(1) 量子噪声·····	120
(2) 内部散弹噪声·····	120
(3) 暗电流噪声·····	121
(4) 过剩噪声·····	121
(5) 背景噪声·····	122
六、光纤传输线·····	124
1. 光纤的传光原理及其特性·····	124
(1) 包层式纤维·····	124
(2) 自聚焦式纤维·····	127
(3) 其他光纤·····	129

2. 光纤传输中的模式分布	131
(1) 包层式纤维的模式分布	132
(2) 自聚焦式纤维的模式分布	140
3. 光纤的传输损耗	140
(1) 材料吸收	141
(2) 材料散射	142
(3) 光波导散射	142
(4) 光纤弯曲时造成的损耗	143
(5) 包层损失	143
4. 光纤的延时失真	145
(1) 延时失真限制了通信容量	145
(2) 包层式纤维的延时失真	146
(3) 自聚焦式纤维的延时失真	147
5. 光纤和光缆的使用	148
(1) 合理选择纤维的类型	148
(2) 光纤和光缆的连接	150
(3) 光纤和光源之间的耦合	152
6. 光纤的制造	153
七、大气光通信系统	159
1. 大气对光传输有什么影响	159
2. 小型的光学天线	162
(1) 折射式天线结构	165
(2) 反射式天线结构	165
(3) 会聚式天线系统	165
3. 机动灵活的大气半导体激光通信系统	167
(1) 发射部分	168

(2)接收部分·····	172
(3)光学系统·····	174
4.容量巨大的气体激光通信系统·····	176
(1)氦-氖激光器直接接收系统·····	176
(2)二氧化碳激光器外差接收系统·····	178
5.卫星激光通信系统·····	182
八、光纤通信系统 ·····	188
1.小型的光源·····	188
(1)发光二极管·····	189
(2)双异质结半导体激光器·····	191
(3)小型钇铝石榴石激光器·····	192
2.探测器件·····	192
3.选什么调制方式好·····	194
4.中继器和中继距离·····	198
(1)两类中继器·····	198
(2)噪声的影响·····	202
(3)中继距离是怎样决定的·····	204
5.如何得到超大容量的传输·····	208
(1)光频率复用·····	208
(2)光空间复用·····	209
(3)光时分复用·····	210
6.几个光纤通信系统的例子·····	211
(1)短距离光纤通信系统·····	212
(2)长距离光纤通信系统·····	214
九、集成光路 ·····	218

1. 什么是集成光路·····	218
2. 薄膜光波导·····	219
3. 薄膜光波导的耦合·····	225
4. 集成光路中的激光器·····	228
5. 集成光调制器和光开关·····	230
6. 集成光路的材料和工艺·····	232
7. 光通信机集成化·····	234
(1) 光频率复用多路通信集成化·····	234
(2) 光放大式集成中继机·····	235
结束语·····	237

一、什么是激光通信

1. 从烽火台到激光通信

光通信，就是用光来传送信息。从古代起，我们的祖先就已经利用光来传送信息，积累了丰富的经验。他们建造烽火台，用火烟和火光来报警异族入侵。到两千多年以前的汉武帝年代，利用烽火台的光通信发展成为接力方式。在长城上大约每隔5公里设一烽火台，把烽火一台接一台地传下去，就可以向远地报警，增加通信的距离。

这种类似的火光通信，在抗日战争和解放战争等近代战争中，也经常用到。利用各种颜色的信号弹指挥作战就是一种简单的光通信。

在交通方面，也常用红、绿、黄等色灯来表示不同的信息。

当然，烽火台这类通信方法简单，装置简陋，所能传送的信息量是有限的。到公元1880年，电话发明者贝尔研究成功一种光学电话。他用弧光灯作为光源，弧光灯发出稳定不变的光束，照射到话筒的薄膜上，薄膜随着声音的振动而振动，反射光束的变化就反映着声音的变化规律。在接收端用一个大型抛物面反射镜，把发送端送来的随着声音变化的光线反射到硅光电池上，转换成光电流，再把光电流送给听筒，就完成了发送和接收的过程。此后光学电话引起许多人的兴趣，并陆续作过一些类似的实验。到第一次世界大战期间，曾使用硅弧光灯作发射机，硅光电池作接收器件，在晴天通信距离为8公里。为

了提高保密性，曾换用红外线光源，通信距离为5公里。后来，光源又改用钨丝灯泡，光束张开角（发散角）为 0.25° ，通信距离加大到15公里。在第二次世界大战期间，许多国家都曾使用过红外线通信系统。

但是，从光学电话问世到第二次世界大战这一段漫长的时间里，光通信的进展不大。其原因，首先是光源不理想。因为在这段时间里，光通信使用的光源所发出来的光，频率成分复杂，振动方向杂乱，调制困难，不宜作光载波；同时它们发出来的光，散开角很大，既不保密，又很浪费，对通信很不利。另外一个很突出的困难就是光的传输没有找到合适的介质，在大气中的传输受气象条件影响很大，严重地影响了通信距离和可靠性，因而限制了光通信的发展和应用。

通信在不断向前发展。从有线通信到无线通信；从长波、中波通信到微波通信；从传送符号、声音到传送图片和活动图象；从地面通信到卫星通信、宇宙通信；等等。随着生产的进一步发展，通信和广播事业也要相应发展，要求不断扩大通信容量。另一方面，对于现用的无线电通信，由于空中相同和相邻近的频率会互相干扰，如发生串话等，因而在一定范围的地区内，各个通信系统不能同时采用相同的频率通信，只能按频率高低顺序排列，或者将使用同一个频率的时间彼此错开来，因而可用频道容量受到限制，造成所谓空间频率拥挤，使通信和广播事业的扩大和发展受到限制。

1960年，发明了一种崭新的光源——激光器。它所发出的激光，具有异乎寻常的特点，引起人们巨大的兴趣，在工业、农业、国防和科学实验方面有着极为广泛的用途。激光在通信方面的贡献，就是使长期处于停顿状态的光通信获得了新生。激光的频率成分比较单纯，振动方向一致，相位相同，与目前

通信用的无线电波相似，所以易于调制，是一种很理想的光载波。由于激光的方向性很好，光束散开角极小，几乎是一束平行的光束，作为通信用，各个通信系统不会互相干扰，这就可以解决空间频率拥挤的问题。由于激光的频率很高，在 $10^{13} \sim 10^{15}$ 赫之间，比微波频率要高一千倍，如果每个话路频带宽度为4千赫，则可容纳100亿个话路；如果每个彩色电视的频带宽度为10兆赫，则可同时播送1000万套电视节目而互不干扰，这是过去任何通信系统所不能达到的巨大通信容量。这种大容量的通信系统实现后，将使通信面貌焕然一新，不但能满足目前一般通信业务日益增长的需要，而且还为许多新的通信业务开辟了宽阔的前景。

2. 怎样实现激光通信

激光通信是怎样实现的呢？激光通信与无线电通信在原理、结构及通信过程方面都是类似的，所不同的是传送信息的运载工具，是用激光而不是用一般的无线电波。激光通信系统的示意方框图，如图1·1所示。

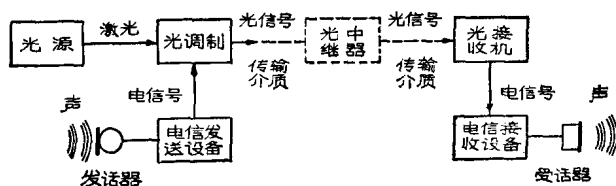


图 1·1 激光通信示意方框图

激光通信首先要有产生激光的光源，这就是激光器。现在已经出现了成百种各色各样的激光器，当前对激光通信比较适

合的有砷镓铝双异质结半导体激光器，它的效率高，体积小，直径约1毫米左右，调制方法简单。它的寿命有些可达百万小时，相当于一百多年，可以认为基本上能满足光通信的要求。适用于激光通信的还有掺钕钇铝石榴石激光器和二氧化碳激光器，它们各有特点，但有待进一步改进（例如在小型化和寿命等方面），才能付诸实用。

光源发出的是稳定不变的光束，如果想要进行通信，还必须利用光调制器，把信号加到光束上去。图1·1中的电信发送设备把话音信号变为适于对激光进行调制的电信号。把这个电信号加到光调制器上，其结果就使通过光调制器的光束，成为随着话音而变化的光束，这就使光束带上了信号，成为光信号，实现了所谓光调制。现在已经研究出多种光调制的方法，如直接调制，电光调制，磁光调制等。直接调制就是把电信号直接加在激光器上，如同电灯一样，所加的电压高，电灯就亮一些，所加的电压低，电灯就暗一些。目前砷镓铝双异质结激光器的直接调制的频带可达上千兆赫，足够目前使用。电光调制就是让光通过电光晶体，如钽酸锂，铌酸锂等，同时把电信号加在这些晶体上来控制光的大小。目前已做出调制频率达数千兆赫的电光调制器。

在接收端有光接收机，机内有光电接收器件，通常称为光探测器件或检测器件，它可以把光信号变成电信号，电信号再经过电信接收设备，还原成原来的话音。光的探测器件比较成熟，发明较早的是光电倍增管，它是在阴极上镀有光电放射材料的一种电子管，可以把照射到阴极上的光电信号变成相应的电信号，并加以放大倍增，所以它的灵敏度很高。最灵敏的可以探测光功率小至 3×10^{-18} 瓦的微光。探测灵敏度高，意味着可以得到更远的通信距离。光电倍增管的工作频带可达1百兆

赫。以往的光电倍增管一般适用于可见光，现在已经研究出能用于光通信的近红外波段的光电倍增管。光电倍增管的灵敏度虽高，但体积大，线路复杂，并且工作电压需要一千伏左右，只有在探测很小的光信号时才采用。

随着半导体技术的发展，已经制出了适用于激光通信探测器的各种光电二极管，它们的优点是体积小，运用简单。一般地说，某一种光电二极管，只适用于某一光频段，对于其他光频段，它的灵敏度很低，甚至不能发生光电作用。所以我们应该按照工作的光频段来选用光电二极管。目前对于许多光频段已经研制出相应的光电二极管可供使用，还研制出能工作于很宽光频段的半导体光电二极管。其中适用于激光通信的有，工作在可见光频段的硅光电二极管；工作在近红外频段的PIN光电二极管和雪崩光电二极管；工作中红外频段的砷化镓及铟化镓光电二极管；工作在远红外频段的碲镉汞及锗掺杂金光电二极管。雪崩光电二极管的响应速度很快，达130微微秒，并且还有较大的电流增益，能改善接收的信号噪声比，适用于长距离大容量通信。

如果通信距离较远，光信号经过长距离介质的传输，会发生衰减而变弱，中间应该加入许多光中继器。光中继器的作用是放大光信号，或者是把光信号变成电信号，放大后再变成光信号转发出去，保证光信号在接收端有足够的强度，不致淹没于噪声之中。

3. 简单经济的大气传输光通信

有了光源、光调制器和光探测器就可以制成光通信机。但是光信号如何从发送端送到接收端呢？也就是说，光信号在收