

新技术革命丛书

光导纤维

李培俊 编

学出版社

本

光 导 纤 维

李 培 俊 编

科 学 出 版 社

内 容 简 介

光导纤维是目前正在迅猛发展中的一门新兴技术。本书主要介绍光纤基本知识、光纤通信、光纤的各种应用及其发展前景。

本书叙述浅显生动、适于具有中等文化程度的广大干部、科技人员等读者阅读。

光 导 纤 维

李培俊 编

责任编辑 姜淑华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年7月第一版 开本: 787×1092 1/32

1984年7月第一次印刷 印张: 2 1/2

印数: 0001-40,000 字数: 35,000

统一书号: 15031·597

本社书号: 3707·15-4

定价: 0.33元

前 言

光导纤维技术是正在迅猛发展中的一门新兴技术。光导纤维具有损耗低、频带宽、线径细、重量轻、可挠性好、抗电磁干扰、耐化学腐蚀、原料丰富、制造时耗能少、能节省大量有色金属等突出优点，从而引起了人们的高度重视。

光导纤维的发展已有几十年的历史。早在本世纪三十年代，就有人试图用纤维排列成一种柔软的光学器件来传像，但只是到1953年才真正提出了具有象今天这样结构的光导纤维的概念。六十年代，随着玻璃、塑料等光学透明物质纤维技术的发展，利用光导纤维做成的传像束在医用内窥镜中得到了实用。1966年英籍华裔科学家高昆从理论上指出，如果消除光导纤维中的有害杂质，使它的传光能力有大幅度的提高，就有可能用于激光通信。1970年美国康宁玻璃公司研制出了第一根光损耗为20分贝/公里的低损耗光导纤维，揭开了光导纤维在激光通信方面应用的序幕，随之世界上出现了竞相开发光导纤维的热潮。到

1978年石英玻璃光导纤维对1.55微米光的传输损耗降到理论上的最低值，这种超低损耗光导纤维的问世标志着光纤制造技术有了长足发展，说明在短短的十几年时间里，光导纤维的发展速度是惊人的。现在世界上的主要经济发达国家中，光导纤维已逐步发展成为新兴的产业。

利用光导纤维进行通信的光纤通信是当代新技术革命的特征之一，也是“信息社会”的一个重要标志。当代对通信的要求愈来愈高，通信容量成百倍乃至几千倍地增长。这就要求传输容量大、价廉优质的传输线路，光导纤维就是最理想的传输信号的介质。光纤通信不仅可用于传送电话、图像，它与数字技术及计算机相结合后，还可用来传输数据、控制电子设备和智能终端等。它将深入影响社会生活，引起信息传输和通信功能的革命，因此有人把光导纤维比喻为“信息社会”里信息传输的动脉。世界上主要发达国家都把发展光纤通信列为重要国策之一。目前光纤通信已经走向实用化，国际上有20多个国家使用了光纤通信。我国于七十年代初开始光纤通信技术的研究，在光导纤维和光纤通信方面进行了大量工作，取得了一定成绩。1976年我国就研制出低损耗的多模光导纤维，1978年全国科学大会决定把光纤通信列为全国重点科

研项目。我国在光导纤维、器件、系统等方面的研制工作有了较快的进展，已先后在上海、北京、南京、武汉、天津等地铺设了光纤通信线路。预计到本世纪末，全世界光纤通信将获得巨大的发展。

光导纤维做成的光学元器件，如传光纤束、传像纤维束、纤维面板等，能发挥一般光学元件所不能起的特殊作用。因而近几年来，在光学、医学、工业生产的自动控制、电子工业和机械制造等各个领域里，都得到了广泛的应用。

利用光导纤维与某些敏感元件的组合，或者利用光导纤维本身的特性，可以做成各种传感器，用来测量温度、电流、压力、位移、声音、加速度等。它与现有的其他传感器相比，有着许多独特的优点，特别适宜于电磁干扰严重、空间狭小、易燃易爆等苛刻环境下使用，成为传感技术中的后起之秀。

目前，科学家和工程师们除了不断提高石英系玻璃光导纤维的性能、扩大产量降低成本外，还在为它的广泛应用大力研究新型光导纤维。总之，光导纤维技术的发展正方兴未艾，前景广阔。

当前，国际上一场新的技术革命正在兴起，对我们来说，这既是一个机会，也是一个挑战。为了适应这个新的形势，迎接挑战，《光导纤维》这本小册子

作为《新技术革命丛书》之一，将从新技术角度出发，分三部分介绍光导纤维。第一部分是光纤的基本知识；第二部分用较多篇幅着重介绍光纤通信，这是光导纤维的主要应用方面；第三部分是光导纤维的其他应用，也就是它在非通信方面的应用以及展望。作者希望能通过这本册子将有关光导纤维这门新技术的知识介绍给广大读者，使得大家对这门新技术获得一个概貌的了解。

本书编写过程中承蒙张英华同志审阅，作者表示感谢。

《新技术革命丛书》

新技术革命的崛起

微电子技术及其影响

信息与社会

新技术革命中的激光

光导纤维

材料与材料科学

海洋——具有战略意义的开发领域

生物技术

遗传工程

统一书号: 15031 · 5

定 价. 0.33 元

本社书号: 3707 ·

科技新书目: 78-

目 录

前言	(iii)
一、光导纤维基本 知识	(1)
(一) 什么是光导纤维	(1)
(二) 光 导纤维的传光原理	(2)
(三) 光导纤维的制造方 法	(4)
二、光纤 通 信	(9)
(一) 什么是光纤 通 信	(9)
(二) 光纤通信用光导纤维	(13)
(三) 光纤通信的应用与 发展	(31)
(四) 明天的光通信介质——红外光导纤维	(40)
三、光导纤维的其他应用	(45)
(一) 光导纤维在信息技术方面的 应用	(45)
(二) 光导纤维在能量传输方面的 应用	(51)
(三) 光导纤维在传感技术方面的 应用	(55)
结束语	(68)

一、光导纤维基本知识

(一) 什么是光导纤维

人们在日常生活中都知道光线只能以直线前进，如果一个光源发出的光线，在它传播的路途中遇上障碍物，那光线就会被挡住，因为光线不能绕道而行，要使光线改变前进的方向，通常要借助于反射镜之类的光学元件。有什么简单的办法能使光线自由地弯曲前进呢？人们很自然会设想到光线能否象水管输送水、气体管道输送气体那样，也沿着一根导管进行传播呢？关键在于有没有可能制造出导光的管子。可是要使这个设想变成现实，即要做出符合要求的光导管，使光线能从它的一端传到另一端时，却遇到了困难。当人们采用普通的玻璃管来传输光线时，光线很快就从玻璃管壁泄漏出去，这显然是不能达到传输光线的目的。后来通过不断实践摸索，终于找到了一种特殊结构的光学纤维，当光线从它的一端射入时，它能把入射的大部分光线传送到它的另一端。这种能传

输光线的纤维就叫做光导纤维，在光学技术上又叫做光波导。

(二) 光导纤维的传光原理

光导纤维是怎样传播光线的呢？要回答这个问题，让我们先来看看光导纤维的结构。光导纤维的直径比人的头发丝还要细，取一种光导纤维，把它切断，放在显微镜下观察，就可以发现它的断面很象胡萝卜。中央有一个芯，芯的直径只有几十微米（一微米等于百万分之一米），芯的四周是一圈包皮。整个纤维的外径约为一百至二百微米。芯是用高折射率的透明光学玻璃材料做成的，包皮是用低折射率的玻璃或塑料做成的。具有这种结构的光导纤维叫做芯皮型结构光纤。还有一种液芯的芯皮结构光纤，那是先用包皮材料做成空心毛细管，中间的孔很小，然后再用高压将折射率高的液体压入管子中制成的。

我们知道，折射率大的物质在光学中叫做光密介质，折射率小的物质叫做光疏介质。当光线从光密介质射入光疏介质时，它的传播方向要发生改变，一部分光线通过交界面进入光疏介质，这种现象叫做光的折射；还有一部分光则从交界面返回原来的介质，这

就是反射现象。如果光线的入射角增大到一定角度时，光线就会从两介质的分界面上全部返回原来的介质，而没有光线进入光疏介质，这就是光的全反射现象，这时的入射角叫做产生全反射的临界角。根据同样的道理，由于光导纤维的芯材料和皮材料折射率不同，芯的折射率大，皮的折射率小，光线以各种不同的角度从折射率大的芯射至与折射率小的皮的交界面时，在一般情况下，光线就在该处一部分透射一部分反射。但是，在界面上光线的入射角大于临界角时，光线就不会透过界面，而全部被反射，也就是说光被全反射。根据这种现象，使得向光导纤维中入射的光与光轴之间的夹角小于一定值时，光线就跑不出去，而只能在界面上经过无数次反射，呈锯齿状路线在芯内向前传播，最后传送至纤维的另一端。这就是光导纤维传光的基本原理。

光导纤维的结构大体上有两类，一类就是上面提到的芯皮型结构。芯皮型结构光导纤维又可分为阶跃型光导纤维和梯度型光导纤维。所谓阶跃型光导纤维，就是在这种纤维中，断面的折射率分布是从折射率高的芯一下子就变化到折射率低的包皮，即芯和包皮的交界面很清楚。而梯度型光导纤维，就是在这种纤维中，其断面的折射率分布是从纤维中央的高折射率逐

渐变化到包皮的低折射率的。它们都是在高折射率玻璃纤维芯的外面包上一层低折射率的玻璃，使光在不同折射率的两种玻璃分界面上产生全反射。这层低折射率的玻璃既作为光导玻璃纤维的光学绝缘介质，使光线不会从纤维中跑出去，同时也保持内芯的外表面不致被弄脏。

另一类光导纤维叫做自聚焦纤维，它的传光原理和芯皮型结构的纤维是不同的。我们知道，当光线垂直地通过平行玻璃薄板后，它的传播方向不变，但是当一束平行光通过双凸透镜时，光线就会向中部会聚。自聚焦光导纤维就好像是由许多这样的微型透镜组合成的。它能迫使入射的光线逐渐自动地向纤维的中心轴线方向靠拢，进行聚焦，因此光线就不会从光导纤维中泄漏出去。由于这种光导纤维能使光线自动聚焦，所以人们称它为自聚焦光导纤维。在自聚焦纤维中，纤维中央的折射率最高，向四周折射率连续均匀地减小，纤维边缘折射率最低。

（三）光导纤维的制造方法

玻璃材料在光谱特性、透明度、均匀性、抗化学腐蚀、耐磨、抗温度变化等方面都比其他材料优越，

而且比较容易拉成纤维，又能大量生产。所以人们一开始就选用玻璃材料来制造光导纤维，只是在它的外面采用塑料作为包皮材料。

其实纤维状的玻璃即玻璃纤维，人们早已用它织成布，放在电机、电器中作绝缘材料使用，或者将它与有机树脂粘合在一起做成复合材料，叫做玻璃钢。它强度高、重量轻，已被广泛用来制造船舶、车辆的壳体、飞机的部件，风力发电机的叶片、体育用具等。不过作为传导光线用的玻璃纤维，无论是材料和制造工艺都和普通的玻璃纤维大不相同，在某种意义上说，它的要求高得多。

光导纤维的制造方法有好多种，现在让我们先介绍棒管法、双坩埚法和分子填充法。

1. 棒 管 法

这种方法是将预先研磨抛光好的高折射率玻璃芯棒插入作皮料用的低折射率玻璃管中，两者之间的隙缝要尽量小，然后将这棒管组合体放入加热炉中加热，待玻璃熔融后进行拉丝，便得到芯皮结构的光导纤维。调节炉温、喂料速度和拉丝速度，便可得到不同直径的纤维。这种制造纤维的方法很麻烦，在棒和管组合之前，棒和管两者的接触表面必须仔细地清洗干净，以

免引入杂质。为了在熔化过程中，纤芯和包皮界面之间不残留气体形成气泡而影响光导纤维的质量，玻璃芯棒和玻璃管都必须经过精细加工，保证它的尺寸精度。

2. 双 坩 埚 法

为了解决棒管法存在的表面需要精细加工的问题，产生了双坩埚法。所谓双坩埚就是将底部呈漏斗状的两个同心铂坩埚套在一起做成的。在内坩埚中装入高折射率的芯玻璃原料，在外坩埚中装入低折射率的皮玻璃原料，然后将装有芯皮料的双坩埚加热，使原料熔化，熔融状态的玻璃液由坩埚底部小孔和导管中自然流出。由于导管的作用使皮玻璃在芯玻璃的外表形成包皮，在坩埚下方有一个高速旋转的鼓轮，由它的牵引作用将玻璃拉成一定粗细的纤维，并缠绕在鼓轮上。芯料坩埚与皮料坩埚的漏孔大小及长度决定了纤维芯直径与皮厚的比值。例如，增长双坩埚底部导管的长度，使芯皮材料在高温下接触，通过离子交换，就能形成折射率呈梯度型分布的结构，通过调节加热炉炉温以及拉丝速度，则可控制纤维的总直径。

3. 分 子 填 充 法

这是将制造微孔玻璃技术移植过来的一种制造光

导纤维的方法。玻璃在人们的印象中，是能透光，但不透气、不透水的很致密的材料，可是人们通过科学研究却找到了一类与众不同的微孔玻璃，它浑身是孔，不过孔很小，用肉眼看不出来，只有在显微镜下才能显出它的原形。当采用这种方法来制造光导纤维时，首先将硼砂、石英砂、烧碱等原料熔化，制成钠硼硅酸盐玻璃预制棒，加热到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，在这个温度下，原子重新“排队”，玻璃结构发生了变化，分成互相不混熔的两个部分。一部分的成分主要是二氧化硅；另一部分主要含氧化钠和氧化硼。如果把这种经过热处理的玻璃浸入酸溶液中，由于二氧化硅不怕酸的侵蚀，所以仍留在玻璃中，而氧化钠和氧化硼则溶解于酸中，结果就在玻璃中形成了无数的空洞，它们的大小一般为几十微米左右。同时在这过程中还能将玻璃中的杂质除去，起到使玻璃纯化的效果。再将这多孔的预制棒浸于高折射率的添加剂溶液中，让添加剂填充到玻璃的微孔中去，这样就能得到具有所需要的折射率分布的断面结构，所以这种方法叫做分子填充法，然后将预制棒再在真空中干燥以后，进行高温加热，烧结成致密的玻璃预制棒，用它就能拉成所需要的纤维。

这种方法工艺比较复杂，同时要想获得纯度很

高、性能很好的玻璃纤维是有困难的，所以不适宜大量生产高性能的光导纤维。

关于光纤通信用的低损耗光导纤维的制造方法将在本书第二部分详细介绍。