

光纤制造与应用译文集

Optical fibre
and applications
fabrication techniques



前 言

纤维光学是近代技术光学的一个新分支,它是研究光学纤维(光纤)传递光、信息和图象的科学。用光纤来传输光能,具有数值孔径大、可以弯曲、结构简单等优点。近年来,光纤制造与应用的研究得到飞速的发展。光纤的应用领域,正在使信息传输和转换产生革命性的变化。可以肯定,纤维光学在科学技术的许多领域,存在很大的潜在能力。

本《译文集》收集了国外最新的光纤制造与应用方面的综述、技术报告、专利和论文等文献资料40余篇,内容反映了国际上对光纤研究、制造、应用的最新成就及动向。

本《译文集》包括以下几部分内容:

1. 光纤制造技术。主要有红外光纤、空心光纤、径向折射率梯度光纤和高强度长光纤的基本特性、制造方法及应用前景。
2. 光纤传感器。包括光纤传感器的原理和应用,并重点介绍了用于测量折射率、液面、旋转和各种物理场的光纤传感器等。
3. 光通信器件。包括光纤连接器、多路传输中的棱镜光栅以及用于光通信的激光器件等。
4. 光纤的技术应用。包括图象观察、高分辨光学图象传输系统,用于航空及远距离、危险场所的数据遥测系统,导弹制导等军事应用以及工业应用等。
5. 搜集了300余个国外光纤厂商、研究机构名录。

本《译文集》可供科研单位、高等院校和工厂等有关部门的科技工作者和教师作为参考书。

本《译文集》由长春光学精密机械学院科技情报研究室编辑,赖叔昌、李学千主编。由于本《译文集》中的文章涉及的专业知识面广,编者水平有限,难免有不妥之处,切望读者批评指正。本《译文集》的出版,得到长春光学精密机械学院近代光学研究所广大同志的大力支持和帮助,对此表示深切感谢。

编 者

1986年9月

目 录

一、光纤制造技术

光纤制造工艺·····〔日〕M. Nakahara	李学千译	赖叔昌校 (1)
光纤的工业制造方法·····〔法〕M. Faure等	李 玉译	沈育志校 (10)
红外光纤及其应用·····〔日〕吉田 进	孙素娟	李学千译校 (22)
空心光纤及其应用·····〔日〕日高建彦	孙素娟	李学千译校 (28)
具有径向折射率梯度的光纤制造方法 ·····〔日〕(特许公报)	孙素娟	李学千译校 (34)
氟化物光纤的制备·····〔日〕三田地成幸等	焦明俊译	李学千校 (41)
硫系化物光纤的制备·····〔日〕金森照寺等	焦明俊译	李学千校 (57)
长尺寸高强度光纤的拉丝技术·····〔日〕坂口茂树等	孙素娟译	李学千校 (72)
光纤制造的新方法·····〔日〕K. Susa	郭国栋译	李学千校 (84)
光纤的基本特性·····〔美〕W. B. Gardner	李学千译	赖叔昌校 (86)
单模光纤特性的测试方法·····〔法〕J. Auge等	李 玉译	沈育志校 (93)
纤维特性预测·····〔美〕P. R. Reitz	郭国栋译	李学千校 (104)

二、光纤传感器

光纤传感器原理及应用·····〔英〕John P. Dakin	任 状译	钟景昌校 (107)
光纤物理场参数传感器 (综述) ·····〔苏〕B. N. Балаев等	富丽晨译	李学千校 (117)
光纤转动传感器·····〔美〕S. Ezekiel等	梁国忠译	赖叔昌校 (136)
光纤液面传感器·····〔日〕坂本慶一	田景全译	钟景昌校 (154)
工业应用中测量温度和振动的光纤系统 ·····〔瑞典〕C. Övren等	刘子恒译	赖叔昌校 (160)
使用反射技术的光纤压力传感器 ·····〔英〕B. E. Jones等	刘璞华译	张岐江校 (168)
测量折射率的光纤传感器 ·····〔日〕Takashi Takeo等	梁俊新译	钟景昌校 (178)
光纤传感器 (综述) ·····〔美〕C. M. Davis	张 彤译	陈波若校 (184)

三、光通信器件

光通信用长波长激光器·····〔美〕R. J. Nelson	钟景昌译	赖叔昌校 (191)
分子束外延生长光通信系统用的可靠的 (AlGa)As双异质结激光器 ·····〔美〕W. T. Tsang	钟景昌译	赖叔昌校 (195)

供潜在的超长波长 ($2\mu\text{m}$ - $6\mu\text{m}$) 光纤用的光源和探测器

.....	[美] J.D.Fridman	崔波译	钟景昌校 (204)
光纤连接器.....	(美国专利)	潘万聪译	薛澜校 (211)
纤维光学多路传输中的棱镜光栅.....	[美] R.Erdman	孙丽华译	杨大任校 (215)
军用连接器.....	[美] G.Kosmos	王法义译	梁国忠校 (222)
用于工艺过程控制的纤维光学元件			
.....	[英] G.D.Pitt	孙丽华 韩春雨译	赖叔昌校 (226)

四、光纤技术应用

光纤技术及其前景.....	[英] J.C.Bass	韩春雨译	赵墨砚校 (238)
光纤技术的应用.....	[英] D.S.Ridler	任大翠译	梁国忠校 (243)
传象束光纤.....	(美国专利)	李冰译	张歧江校 (248)
图象观察系统.....	(美国专利)	王俊起译	梁国忠校 (258)
高分辩率的纤维光学图象传输系统			
.....	[美] D.E.Hulsey等	黎荣辉译	田二勇校 (263)
光纤(光波导)技术在国防通信系统中的潜在应用			
.....	(美国 AD 报告)	田二勇译	赖叔昌校 (270)
用于远距离或危险场所的光纤数据遥测系统			
.....	[英] S.D.Drossley等	张千勇译	田二勇校 (298)
纤维光学系统的空间应用			
.....	[美] Gail A.Taylor等	张柏福译 钟景昌	朱宝仁校 (306)
用于航空电子技术的先进光纤系统			
.....	[美] B.E.Kincaid	王玉民 徐莉译	梁国忠校 (313)
控制飞机发动机进口的光纤系统			
.....	[美] R.J.Baumbick	朱宝仁译	钟景昌校 (325)
光纤在航空与航天中的应用			
.....	[英] J.S.Williams	王少君译	赖叔昌校 (331)
导弹制导用光纤的最佳化.....	[美] D.S.Fox等	徐永真译	郭小燕校 (336)
用于导弹的双向光纤制导线			
.....	[西德] K.H.Niederhofer等	张兴德译	梁国忠校 (345)
军用系统对高强度光纤的需求.....	[美] H.E.Rast	曲万春译	赖叔昌校 (350)
陆军光纤系统的幸存能力.....	[美] H.Wichansky等	赖叔昌译	钟景昌校 (356)
光纤在工业中的应用.....	[法] E.Catier	李玉译	沈育志校 (364)
国外主要光纤公司厂商简介			郭小燕编 (372)
日本光学公司名录——开拓光产业的企业群		孙素娟译	李学千校 (404)

光纤制造工艺

〔日〕 M. Nakahara

1. 引言

六十年代, 玻璃纤维应用于光通信的最主要障碍是它具有相当高的衰减。1970年由康宁玻璃厂制造成功^[1]衰减低于 2^6 dB/km的玻璃纤维, 基本上改变了玻璃纤维作为光学传输介质的现状。此后, 为生产实用光纤, 世界各地的研究人员和工程技术人员进行了许多尝试。并且在制造工艺、传输特性和机械性能方面都取得了显著地进展。特别是衰减, 显示出了逐年急剧下降的趋势。1970年达到了在 $1.55\mu\text{m}$ 处^[2]为 0.2 dB/km 的极低损耗, 它接近于石英基质光纤的理论预测损耗极限。

除所用材料外, 光纤的性能还极大地依赖于纤维制造工艺。许多有价值的光纤维制造工艺已被提出和开发, 于是很快地开展了生产光通信实用的光纤。本文综述了近十年光纤研究的制造工艺, 同时对于光纤制造技术领域的未来趋势进行了展望。

2. 光纤制造工艺和材料的分类

表 1 列出了许多已采用和正在采用的光纤制造材料和工艺。在表 1 中的各类光纤, 它们的传输特性、材料以及成本是不相同的, 并且根据它的特点应用在各种不同领域。由氧化物玻璃制成的光纤可分为两类, 一类是含有作为主要成分的石英纤维; 另一类是除了 SiO_2 之外还含有各种氧化物和碳酸盐玻璃的多组分玻璃纤维。掺杂少量的 GeO_2 、 P_2O_5 等, 可改进石英光纤的折射率(如图 1) ^[3]。四氯化硅、四氯化锗及五氯化磷 是用于制造石英光纤的原材料。这些原材料在室温下是液相的, 为了排除过渡金属离子的污染, 通常利用它的汽相。引起光吸收增加的过渡金属离子在氯化物中的蒸汽压比 SiCl_4 、 GeCl_4 及 POCl_3 等低得多。例如, FeCl_4 的蒸汽压约为 SiCl_4 的 10^{-4} 这样低。因此, 这些原材料可利用汽相进行蒸馏。掺杂浓度(因而也是折射率), 可通过适当地改变这些气态原材料的气流来进行控制, 这种工艺方法类似于半导体器件的制造方法。对于多组分玻璃纤维的情况, 超纯粉末状氧化物和碳酸盐在坩埚中熔融。又如, 塑料包层的纤维^[4]是由人工合成的石英纤芯和硅有机树脂橡胶塑料包层组成的。这样就使得阶跃折射率纤维中的芯径很粗($200\mu\text{m}$), 并且纤芯和包层之间的折射率差也很大。塑料纤维^[5]的纤芯和包层均由聚合物制成, 利用它的柔性优点, 但它的典型损耗值为 100 dB/km , 比玻璃纤维大得多。

表1 光纤材料制造工艺的分类

纤 维	工 艺	组 分	原 材 料
石英纤维	IVPO, OVPO, MCVD, PCVD, VAD	纤芯: $\text{SiO}_2, \text{GeO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{B}_2\text{O}_3$	$\text{SiCl}_4, \text{GeCl}_4, \text{POCl}_3, \text{BCl}_3$
		包层: $\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{Si-F}$	$\text{SiCl}_4, \text{BCl}_3, \text{SF}_6, \text{SiF}_4$
多组份玻璃纤维	双坩埚法	纤芯: $\text{SiO}_2, \text{Na}_2\text{O}, \text{CaO}, \text{GeO}_2$ 等	$\text{SiCl}_4, \text{Na}_2\text{NO}_3, \text{Ca}(\text{NO}_3)_2, \text{Ge}(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_4$
		包层: $\text{SiO}_2, \text{Na}_2\text{O}, \text{CaO}, \text{B}_2\text{O}_3$ 等	$\text{SiCl}_4, \text{Na}_2\text{NO}_3, \text{Ca}(\text{NO}_3)_2, \text{BCl}_3$
塑料-包	对熔融石	纤芯: 熔石英	SiO_2 或 SiCl_4
层纤维	英棒拉丝	包层: 硅有机树脂	二甲基二氯硅烷
塑料纤维	双坩埚法	纤芯: PMMA, PS	MMA
		包层: P(VDF + TFE)	VDF, TFE

IVPO: inside vapour phase oxidation (管内汽相氧化法)

OVPO: outside vapour phase oxidation (管外汽相氧化法)

MCVD: modified chemical vapour deposition (改进化学汽相沉积法)

VAD: vapour-phase axial deposition (汽相轴向沉积法)

PCVD: plasma-activated chemical vapour deposition (等离子体激活的化学汽相沉积法)

PMMA: polymethylmethacrylate (聚异丁烯酸甲酯树脂)

PS: polystyrene (聚苯乙烯)

VDF: vinylidenefluoride (偏二氟氟化物)

TFE: tetrafluoroethylene (四氟乙烯)

P: poly... (聚...)

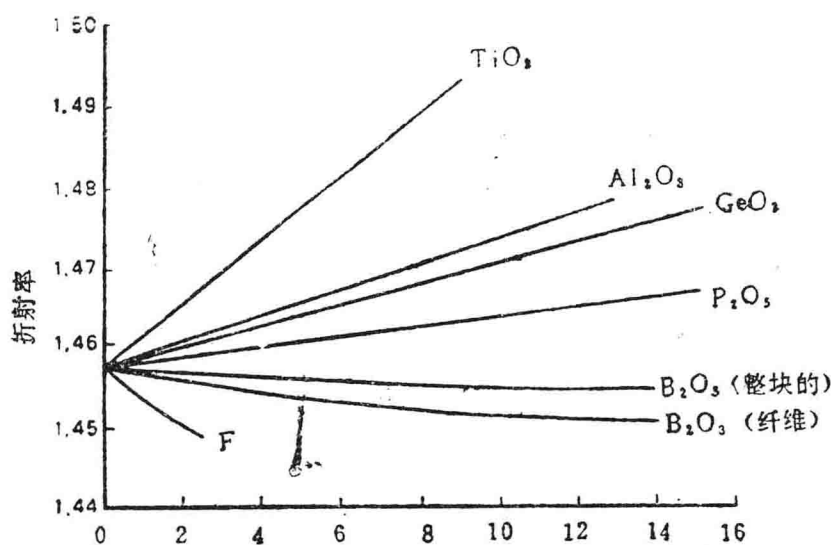


图1 石英中各种掺杂剂的掺杂浓度与折射率之间的关系

3. 制造工艺

3.1 石英纤维

石英纤维的制备包括两个主要工序：预制和拉丝。光纤的传输损耗和带宽在很大程度上依赖于预制工艺，而直径的均匀性和强度依赖于拉丝工艺。这两个工序将在下面段落中阐述。

3.1.1 预制工艺

自1970年以来，已研究了石英纤维制造的几种方法，用得最多的是汽相反应法。

A. 管外汽相氧化工艺 (OVPO) [6] 和管内汽相氧化工艺 (IVPO) [1] 是由康宁玻璃厂研究出来的。二者包括了相同的化学工艺。首批的损耗低于20dB/km的光纤就是采用IVPO工艺生产的。OVPO工艺略图如图2所示：由汽相原材料合成的精制玻璃微粒，在氢氧焰中淀积在一个陶瓷或石英棒做的旋转出发心棒上。玻璃层(即一般所说的粉尘“soot”)完成以后，利用粉尘预制棒和出发心棒热膨胀系数的差别，将预制棒从出发心棒上脱卸下来，然后在1500℃左右熔合成带有中心孔的透明预制棒。再将熔合的预制棒在1800~2000℃高温下加热把中心孔塌去。预制棒的折射率断面可通过改变层与层之间气态混合物的掺杂浓度来获得。在氯气中凝固之前，通过对粉尘预制棒进行热处理，能除掉从燃烧器直接带来的氢氧根杂质[7]。

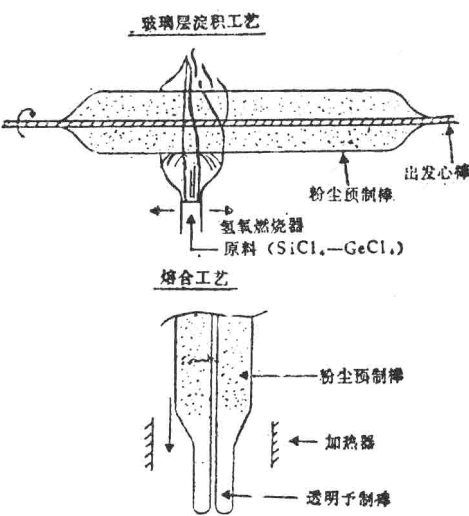


图2 OVPO工艺示意图

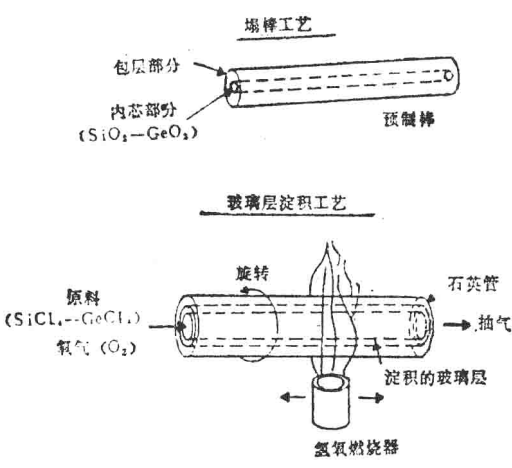


图3 MCVD工艺示意图

B. 图3示出了贝尔电话实验室研究出的改进化学汽相淀积法 (MCVD) 工艺[8]的基本原理：卤化物汽相原材料由氧气带入石英出发管内，该管被氢氧焰从外部加热到1400℃左右。在环行火焰中，卤化物汽相材料被氧化成精制的玻璃微粒，直接淀积在石英管的内壁上。类似于OVPO工艺，使火焰在玻璃-工作车床上沿石英管往返运行，则

可获得多层玻璃淀积。MCVD工艺的特点是在密封的空间中完成该工艺而产生高纯度的玻璃淀积，并且在每一火焰流程中，通过改变汽相成分，能形成任意形状的折射率断面。最重要的特点是淀积芯层之前进行厚阻挡包层的淀积。这能降低OH吸收损耗，否则就会在淀积玻璃层时使OH离子从石英管扩散到已淀积完的芯玻璃中去。阻挡层和芯层淀积完成之后，将剩下的中心孔塌去即成为实心的纤维预制棒。采用射频或微波等离子体(等离子体激活的化学汽相淀积法：PCVD方法) [9]等其它能源代替气体喷管，也可使卤化物原材料反应生成氧化物玻璃。

C. OVPO、MCVD和PCVD工艺的特点是在横向进行玻璃层的淀积。由Ibaraki电气通信实验室(NTT)研究成功的汽相轴向淀积法(VAD) [10]，在其淀积方向上与常规的工艺有所区别，如图4所示：汽相原材料从喷管中喷射出来，通过火焰水解反应形成精制的玻璃微粒，这些微粒沿轴向淀积在出发棒的一端。沿轴向生长成预制棒，引上的速率要和它的生长速度相匹配，并且在1500℃左右的电炉中熔合成透明预制棒。精制的玻璃微粒的淀积以及熔合都是在轴向上延续

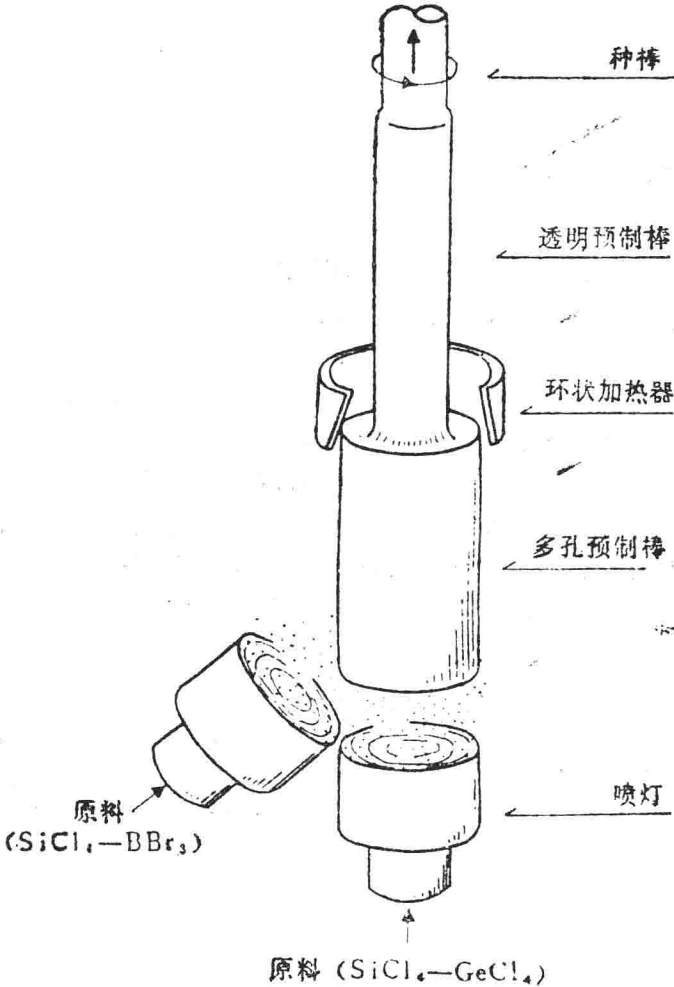


图4 VAD工艺的基本结构

的。利用氢氧焰中合成的 $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 微粒的淀积性质，可以获得空间折射率断面。精制玻璃微粒中氧化锗的浓度在很大程度上依赖于粉末预制棒的表面温度。例如，改变气流条件，就可控制粉尘预制棒表面的温度分布，从而形成折射率断面。VAD工艺的脱水技术本质上与OVPO工艺相同。这些工艺的特点汇总于表2。

3.1.2 拉丝和涂层工艺

上述工艺制成的预制棒须再拉成细纤维丝，拉制纤维丝的装置示意图如图5所示。预制棒送入电炉内，从电炉中拉出的纤维通过绞盘卷在卷丝辊上面。拉制具有低损耗、

表2 石英纤维预制棒制造方法分类

	反 应 类 型	淀 积 方 向	折射率断面形成
IVPO	火焰水解	横向淀积 (石英管内部)	层近似法
OVPO	火焰水解	横向淀积 (出发棒外部)	层近似法
MCVD	高温氧化	横向淀积 (石英管内部)	层近似法
PCVD	高温(射频)或低温(微波)氧化	横向淀积 (石英管内部)	层近似法
VAD	火焰水解	轴向淀积 (延续制造)	在整个空间 一次全部形成

均匀尺寸及高强度的优质石英纤维,要求准确地温度控制在 2000°C ,且需要净化的环境条件。控制纤维可利用多种热源,诸如电阻加热、感应加热、氢氧焰和二氧化碳激光器。生产现代技术的光纤应用最广泛的热源是石墨电阻炉^[11]和氧化锆或石墨感应炉^[12]。石墨加热元件必须在连续的惰性质气流中使用,以防止由氧化引起损坏,而氧化锆感应加热则不需任何保护气氛。为减小纤维直径的波动,热源须稳定在 $2000\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之内。利用一个市售提供的检测仪器,用光学方法联机地测量纤维外径。它的分辨率为 $\pm 0.2\mu\text{m}$,且测量的数值反馈给绞盘以控制拉丝速度。这样就容易大批量生产外径尺寸波动范围小到 $\pm 3\mu\text{m}$ 以内(对于 $125\mu\text{m}$ 的外径)、长度超过几十公里的平滑纤维。目前典型的拉丝速度约为 1 m/s 。

我们已知在光纤表面上的微裂会导致抗拉强度明显降低,因此必须把纤维涂上一层塑料,以保护原来的玻璃表面不受机械磨损。这样的涂层是在纤维拉制过程中联机完成的。可以利用各种涂层材料,例如,聚氨基甲酸乙酯、环氧丙烯酸酯,硅有机树脂以及次乙基-乙烯树脂-醋酸盐。这些聚合物以液态储存在容器模子内对纤维进行涂层,且通过加热或紫外辐照直接固化。在涂层工序中,为尽量减小由微弯曲而产生的超低损耗,

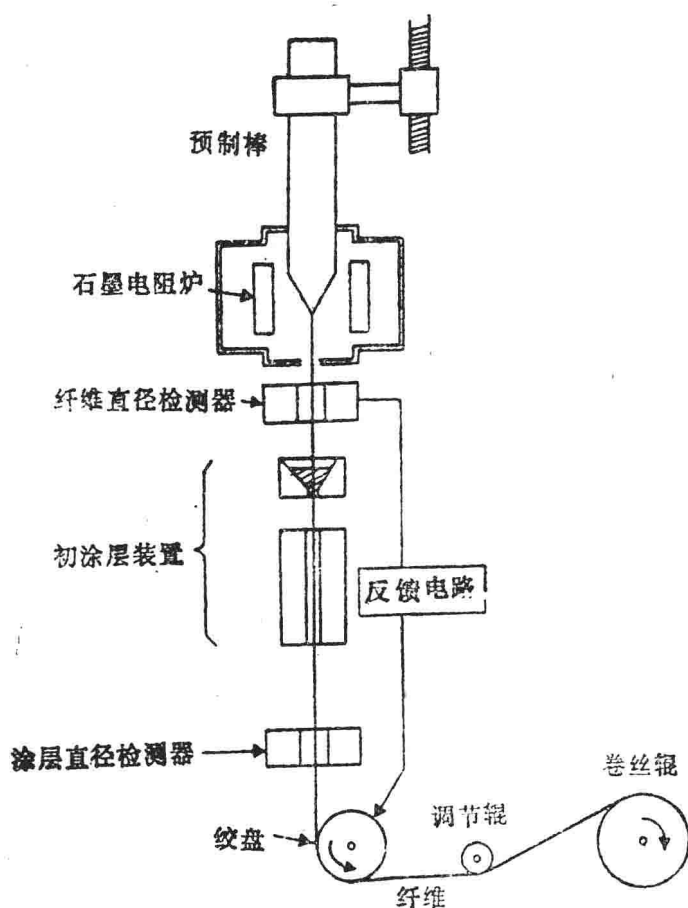


图5 由预制棒拉制纤维丝的装置示意图

获得高质量的光纤，纤维的均匀性和同心度是最重要的问题。为此目的，有时用低弹性模量的硅有机树脂橡胶作为衬层，然后再套上一层高弹性模量的如尼龙之类的聚合物，对整个光纤进行模压以增加抗磨损能力。

3.2 多组分玻璃纤维

多组分玻璃纤维工艺包括玻璃熔炼和拉丝两部分。与石英纤维相反，光学波导结构在拉丝工序中制成。首先，对于诸如 SiO_2 、 NaCO_3 和 CaCO_3 等超高纯度的试剂，为提供所要求的组分，应按比例称重。这些试剂通过离子交换、蒸馏和熔剂萃取来净化。再对这些试剂进行混合。熔炼及退火。由此合成的玻璃采用切割和抛光工艺制成粗料或棒料，再把这种熔炼成的玻璃拉制成棒，或直接浇注到坩埚内。具有不同折射率的芯玻璃和包层玻璃，装入到底部具有同轴注口的双坩埚中，约在 $600\text{--}1000^\circ\text{C}$ 下同时拉成纤维。多组分玻璃纤维的拉丝系统示于图6^[13]。采用铂坩埚和石英坩埚以利于防止杂质的污染。纤维的直径控制和塑料涂层所用技术类似于石英纤维的制造技术。内芯与包层的速率之比与双坩埚的注口尺寸有关。越过内芯和包层界面，组分的扩散会影响多组分玻璃纤维的折射率分布。例如，T1是用于制备梯度折射率断面的。利用喂料玻璃加入双坩埚中可以连续制造多组分玻璃纤维。还有玻璃制品的其它技术，如棒管法和分子填充法等^[14]。分子填充法包括如下工艺：硼硅酸盐玻璃的相分离，用酸浸析成多孔的玻璃，将类似于Cs等作为掺杂剂填充到细孔中，再烧结成透明的玻璃棒。

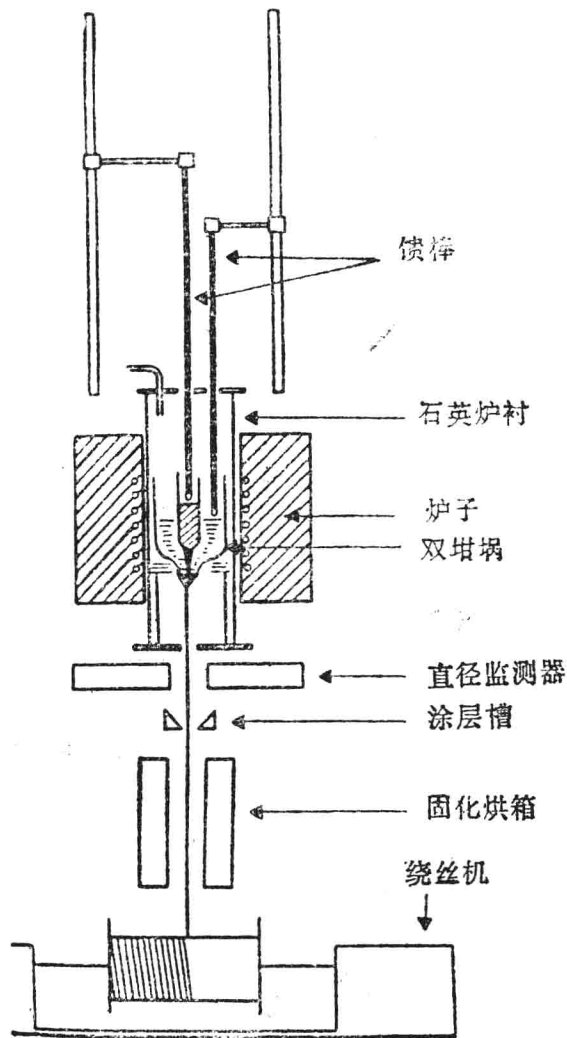


图 6 双坩埚法的纤维拉丝装置

4. 制造技术的现状

4.1 传输特性

光纤制造技术现已发展到如此水平，即光纤对传输特性的固有限制已成为重要问题^[15]。由于过渡金属杂质引起的损耗增加，很容易通过汽相反应和氧化物或碳酸盐原料的提纯来消除掉。然而，减少氢氧根离子则是更大的问题。

在MCVD和PCVD工艺中，氢氧根离子来源于卤化物原料中像SiHCl₃等物质中水形成的杂质。在纤维中OH离子污染的其它来源则是，在塌棒和拉丝工艺中，OH离子从出发石英管扩散^[16]到已淀积的芯层里面。可利用提纯原料，以及在内芯淀积之前合成厚的阻挡包层，来排除OH的污染。目前，在MCVD法的光纤制造中，OH的污染已降低到几个10⁻⁹的数量级水平^[17]。

在OVPO和VAD光纤制造工艺(粉尘工艺)中，降低OH污染比MCVD工艺更为困难，因为从火焰水解中可直接带入OH离子。1979年，粉尘工艺的脱水技术^[18]已被开发。这种技术是在将粉尘预制棒熔合成透明预制棒之前，在Cl₂或SOCl₂气氛中对其进行加热处理，利用该工艺可以很容易地将OH离子降低到~10⁻⁸水平。由于这些工艺过程不用石英管，这就不存在OH离子从外部扩散进入芯区。1980年应用VAD工艺已制备出几乎完全没有OH的光纤^[19]。在这种纤维中残存的OH含量已降低到小于1×10⁻⁹，并且在它的损耗光谱中已展现出了低损耗窗口，如图7所示，同时标出了由于紫外吸收、红外吸收和瑞利散射所给出的理论损耗曲线。

到目前为止，最低损耗的数值才列入本杂志的这期之中(见“光纤的基本特性”一文)。现在，可提供0.85μm左右波长、损耗值为2~5 dB/km的光纤及1.3μm左右波长、损耗值为0.5—2 dB/km的光纤。

消除过渡金属杂质及由于气泡和微晶造成的瑞利散射中心，可使多组分玻璃纤维的传输损耗降低。现已获得0.85μm波段的最低损耗为3.4 dB/km^[20]，但是典型的损耗要比石英纤维高些。已制出数值孔径达到0.6的多组分玻璃光纤^[21]。

为生产宽带纤维，精密地控制具有抛物线型折射率断面是重要的问题。现已用各种技术，诸如OVPO、MCVD、PCVD和VAD等工艺，获得准确的抛物线型折射率断面；对于MCVD工艺中掺杂的石英玻璃的淀积温度，卤化物原材料与出发石英管或燃

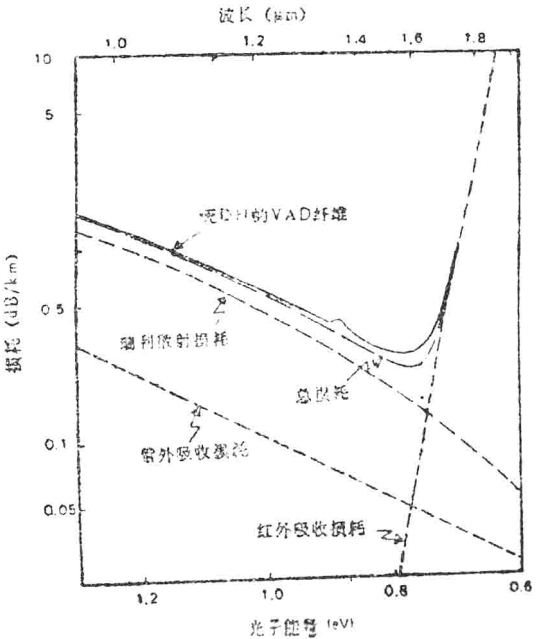


图7 无OH的VAD纤维损耗光谱，虚线表示计算的损耗成分

烧器的馈给比率,石英管内压的控制,对于VAD工艺中燃烧器的结构和尺寸,已进行了详细地研究。从而,在1980年便达到了 $6\text{GHz/km}^{[22]}$ 的带宽。而且制造梯度折射率多模光纤的技术已达到容易进行大批量生产带宽为 $0.2\text{—}1\text{GHz/km}$ 纤维的水平。

4.2 强度

在光纤制造工艺的最初阶段,大多数纤维都是无涂层的,并且具有小于 100kg/mm^2 (1GPa) 的低抗拉强度。纤维强度对于许多工艺变量,诸如热源的清洁程度、拉丝温度、涂层器及其材料以及预制棒玻璃的品质等,都是敏感的。改进拉丝技术和涂层技术可产生接近于玻璃固有强度的高抗拉强度。通常纤维强度采用基于弱键模型的韦布尔 (Weibull) 分布曲线表示。图8示出了各种条件下 $^{[23]}$ 拉制光纤的韦布尔曲线。在 $4\text{—}5\text{GPa}$ 范围的曲线单峰高强度是钢丝的两倍。为改进在水中和受力环境时的长期机械特性,已研制出了金属涂层光纤 $^{[24]}$ 和表面抗压光纤 $^{[25]}$ 。

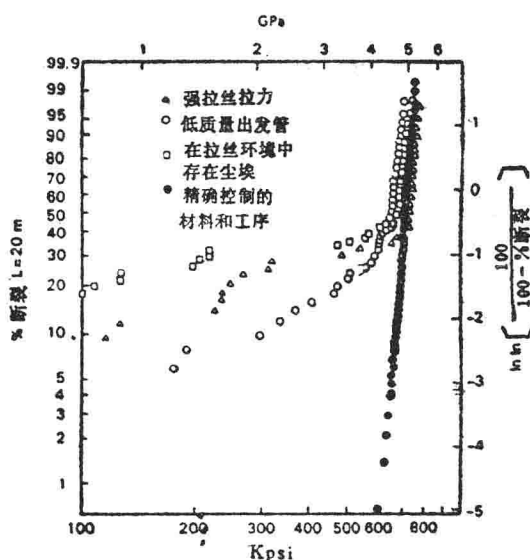


图8 各种拉丝条件下制备的长3km长度光纤的韦布尔曲线

4.3 生产率

对于大规模的光通信系统,光纤的未来应用要求改进玻璃层淀积和拉丝速度等项的生产率。目前利用OVPO、MCVD、PCVD和VAD方法,玻璃淀积速率是 $0.3\text{—}1\text{g/min}$ 。现在贝尔电话实验室利用热迁移效应正研究使速率增加到 $2\text{—}5\text{g/min}^{[26]}$ 。拉丝速度受涂层材料固化时间的限制。热固性硅有机树脂涂层的最高速度是 $3\text{m/s}^{[27]}$,紫外固化的环氧丙烯酸盐涂层是 $5\text{m/s}^{[28]}$ 。对于涂层的聚合物的固化时间,还需要进一步改善。

5. 结论

在过去十年里,就传输特性和强度来说,光纤制造工艺取得了迅速的进展。光损耗、带宽和强度已接近固有极限值。光纤制造工艺正趋向于提高大批量生产的生产率。

参 考 文 献

- [1] Kapron F.P. et al—Appl. Phys. Lett., 10, p. 433 (1970).
- [2] Miya T. et al.—Electron. Lett., 15, p. 106 (1979).
- [3] Hung Y. Y. et al—J. Non-Cryst. Solids, 27, p. 29 (1978).

- [4] Suzuki Y. et al.—Appl. Opt., 13, p. 1 (1974).
- [5] Crist B. D. et al.—J. Appl. Phys., 51, p. 1160 (1980).
- [6] Keck D. B. et al.—US Patent 3737292 (1973).
- [7] De Luca R. D.—US Patent 3933454 (1976).
- [8] MacChesney J. B. et al.—Proc. Xth Int. Congr. Glass, Kyoto (1974), 6, p. 40.
- [9] Geittner P. et al.—Appl. Phys. Lett., 28, p. 645 (1976).
- [10] Izawa T. et al.—Tech. Digest of IOOC77, Tokyo (1977), p. 375.
- [11] Payne D. A. et al.—Ceram. Bull., 55, p. 195 (1976).
- [12] Runk R. B.—Topical Meet. on Opt. Fiber Tran. I, Washington DC (1979), TuB2.
- [13] Beales et al.—Proc. IEEE, 123, p. 591 (1976).
- [14] Masedo P. et al.—Proc. 2nd Eur. Conf. on Opt. Comm, Paris (1976), p. 37.
- [15] Izawa T. et al.—Appl. Phys. Lett., 31, p. 33 (1977).
- [16] Kawachi M. et al.—Jpn. J. Appl. Phys., 17, p. 1975 (1978).
- [17] Ohmori Y. et al.—Electron. Lett., 15, p. 616 (1979).
- [18] Aronson B. S. et al.—Topical Meet. on Opt. Fiber Trans I Washington DC (1979), WC6.
- [19] Hanawa F. et al.—Electron. Lett., 16, p. 699 (1980).
- [20] Bfales K. J. et al.—Electron. Lett., 13, p. 755 (1977).
- [21] Beales K. J. et al.—Phys. Chem. Glasses, 21, p. 39 (1980).
- [22] Nakahara M. et al.—Electron. Lett., 16, p. 391 (1980).
- [23] Blyer L. L. et al.—Proc. IEEE, 68, p. 1194 (1980).
- [24] Pinnow D. A. et al.—Tech. Digest of IOOC77, Tokyo.
- [25] Makland M. S. et al.—Topical Meet. on Opt. Fiber. Trans I Washington DC (1979), p. 15.
- [26] Nagel S. R. et al.—ibid., p. 50.
- [27] Kimura T. et al.—Proc. 6th Eur. Conf. on Opt. Comm., York (1980) p. 57.
- [28] Paek U. C. et al.—Tech. Digest of IOOC81, San Francisco WG2.

译自 Telecommunication Journal, Vol. 48-X, p. 643—648 (1981).

李学千 译

赖叔昌 校

光纤的工业制造方法

〔法〕 M. Faure A. Drouart

摘 要

近年来,由于在工艺领域中取得的成就以及对光通信(其优点已无需说明)越来越大的需求,光纤的工业化生产得到了飞跃发展。

但仍有一些问题亟待解决,以便改善光纤的性能和降低生产成本,此外还需在国际组织范围内确定关于光纤特性及测试原理的标准化问题。本文目的在于简要介绍测试光纤特性的各种方法以及目前使用最多,并且在最近将来仍会使用最多的各种制造方法。

一、引 言

目前,光纤通常应用于大容量和远距离传输。用新的光纤制造方法可同时获得极纯玻璃以及控制光纤内芯的折射率断面,由于这些新方法的发展,才使高速的工业化生产成为可能。

在这些新技术中,最能代表这种迅猛发展的技术是化学汽相淀积法(或CVD法)和双坩埚法。许多其他方法也获得了发展。但在一般情况下,用这些方法制造的光纤性能较差。尽管如此,由于这些光纤价格低,仍然用来进行短距离和小容量通信。

本文介绍光纤特性的各种测试方法以及最常用的光纤制造方法。这些方法可以划分为两类:

a) 制造石英与掺杂的石英光纤

- 火焰水解法及化学汽相轴向淀积法(VAD法),
- 等离子火焰熔融法,
- 改进化学汽相淀积法(或MCVD法),
- 等离子体激活化学汽相淀积法,

b) 制造多组分光纤:

- 双坩埚法,
- 相分离法。

二、光纤的光学特性

在现今所有工艺特别是光纤工艺中,产品制造的最后检验都是成套和系统化的。这

种检验实际上对产品的特性起着保证作用。即使在生产可靠性上取得了令人瞩目的进展,但这种检验也不是一目了然的。可以设想,总有一天能对高级光纤进行统计检验。此外,由于光纤随其质量提高而增大了价值,必须同时对测试条件确定某些标准化准则(CCITTCEI)。这些准则可使用户与各种供应商之间的对话更加容易,并能用来对获得重要应用的光纤进行分类:

表 1

光纤等级与类型		等级A: 多模光纤				等级B: 单模光纤
		A1	A2	A3	A4	
性 质	内 芯	石 英	石 英	石 英	塑 料	石 英
	包 层	石 英	石 英	石 英	塑 料	石 英
典型尺寸 (μm)		50/125				9/125
折射率变化		梯 度	阶跃或准阶跃			阶 跃
1 km距离的通频带		≈ 1GHz				≈ 200GHz
应 用		中距离与远距离通信	局部网络通信			远距离通信与海底通信

- 为此,在提供光纤线时带有记载下列内容的标签:
- 光纤性质 (梯度折射率或阶跃折射率光纤),
 - 衰减,
 - 通频带,
 - 几何尺寸,
 - 数值孔径,
 - 长度。

1. 折射率断面

按折射率断面,光纤可划分为 3 类:

- ① 阶跃折射率光纤
- ② 梯度折射率光纤
- ③ 所谓假梯度光纤

如果用户另外还熟知光纤的通频带值,一般来说,这种分类法可以满足用户需要。但是,了解折射率断面可掌握其他参数,例如光纤芯径。

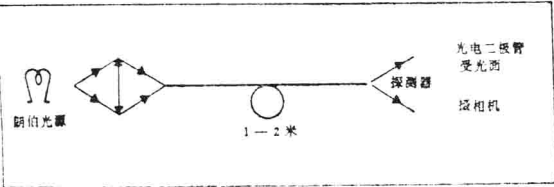


图 1

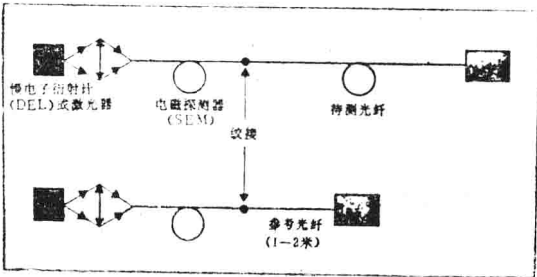


图 2

还可使用很多完善的方法(如干涉显微法)。但对近场测量只提供断面的近似值。这种测试法已能充分满足系统检验的需要。

2. 衰减

光纤的衰减，通常是用一些约定的均衡注入条件加以测量。这些注入条件可确定单位长度损耗（以dB/km表示）。

对两种波长(0.84μm与1.3μm)标定这种衰减，常采用下述两种方法：

① 参考法（切割光纤法）。其原理如图 2 所示，即相继测量(在入射口几米处)切割前与切割后来自光纤的光强。

②所谓“后向散射”法。其原理是在注入一个光脉冲时，可回收一部分由光纤散射的光能量（见图 3）。

这种方法令人深感兴趣。因为它不只是提供一个衰减总数的数值，而且还能使人见到和估价由于气泡或直径的急剧变化而引起的误差值。

3. 通频带

多模光纤表现为一种低频滤波器。重要的是，既要熟知多模光纤的通频带，又要了解它所产生的脉冲宽度。

① 频率方法

通过对一种激光源的频率移动，可直接获得光纤的振幅-频率响应。还可利用分布在特定频率范围内的预先平衡了的频率进行连续发射（见图 4）。

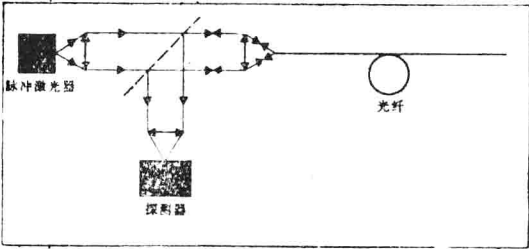


图 3

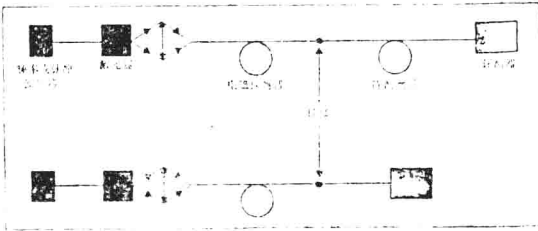


图 4

② 脉冲方法

将一串光脉冲通过模平衡模拟装置射入光纤，并对通过待测光纤和参考距离的脉冲加以比较（见图 4）。

由此可推断出脉冲宽度为最大振幅的10至50%。这一信息或是被直接应用，或是被变换为振幅-频率响应。

4. 直径的确定

从几何学上讲，光纤的特性表现在：

- ① 芯径与芯的不圆度,
- ② 基准(或包层)的表面直径与该表面的不圆度,
- ③ 在芯与包层之间的同心度误差。

目前的倾向是, 将光纤的正截面图象与由 4 个同心圆(或样板)组成的参考系统相重迭。

测试这些参数用的测试台与上述确定折射率断面的测试台完全一致。传感器则或是一种感光薄膜, 或是一种可对信号进行电子处理的 CCD 摄影机。

5. 数值孔径

自从人们对光源-光纤耦合与联系损耗的能量平衡发生兴趣以来, 数值孔径 成为一个重要的参数。实际上, 数值孔径表现为接受光线的立体角。测量原理是, 画一张由光纤照射的远场图, 并测量最大接受角或含有 90% 光能的角。该角的正弦就是 数值孔径 (见图 5)。

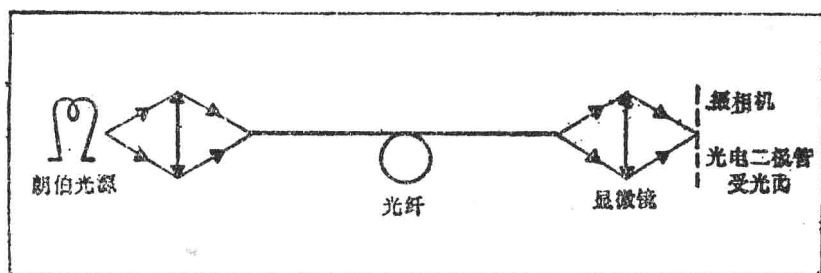


图 5

三、机械性能

为了能用光纤进行无损布线, 为了使光纤一经布线即能承受虽然很小但却要经过很长时间(20至30年以上)的载荷, 必须熟知光纤的机械性能。即:

- 光纤的动态阻力(在布线时通过筛选将最重要缺陷排除之后),
- 光纤随各种环境条件(如温度与湿度)而不同的抗静态疲劳性。

1. 动态阻力的测量

这种测量在一台普通拉力试验机上进行。通常可将该试验机改型, 使其能对很长的试样(8~12m)进行测试。然后将测试结果记录在韦布尔图表见上(图 6)。在光纤于湿热环境中老化之后可重新进行上述测量。

2. 静态疲劳的测量

该测量在于确定一根光纤能承受一种重载荷的时间。挑选该载荷通常要使它等于事