

第 五 届 欧 洲 光 通 信 会 议

第二届国际集成光学及光纤通信会议

会 议 文 集

荷兰 阿姆斯特丹 1979年 9 月

第 三 分 册

光 纤 及 光 缆 (上)

武汉邮电科学研究院情报研究室

第 三 分 册 目 录

(上)

光纤工艺 I

3. 1 在汽相轴向沉积法中通过控制火焰水解反应降低氢氧根含量
日本藤仓电缆公司 T. Moriyama, R. Yamauchi,
K. Sanada, O. Fukuda, S. Ohigira 和 日本电报电话
公司茨城电信研究所 T. Maahiro
3. 2 用双坩埚法制作低损耗渐变折射率纤维
英国邮政总局研究中心 K. J. Beales, O. R. Day,
W. J. Duncan, A. G. Dunn, P. L. Dunn, G. R. News,
J. V. Wright
3. 3 低损耗、高数字孔径的光纤维
英国邮政总局研究中心 K. J. Beales, O. R. Day,
W. I. Duncan, A. G. Dunn, P. L. Dunn, G. R. News
and S. Partington
3. 4 军用大芯径光纤
英国标准电信研究所 J. Irven
3. 5 等离子激活化学气相沉积工艺中衬底温度对沉积特性的影响
西德亚琛飞利浦股份有限公司研究所 D. Kuppera,
J. Koenings and H. Wilson
3. 6 长单模低损耗二氧化硅纤维的制备
英国邮政总局研究中心 B. J. Ainslie, P. W. France,
O. R. Day, K. J. Beales, G. R. News

光纤工艺 II

5. 1 用 V. A. D. 法制作的梯度型光纤的折射率截面分布
日本藤仓电缆厂 K. Sanada, T. Shioda, T. Moriyama
K. Inada 和 日本电报电话公司茨城电信研究所
M. Kawachi and H. Takata

5. 2 用等离子体增加汽相沉积来制备光纤
英国标准电信研究所 J. Irven and A. Robinson
5. 3 1.2-1.6 μ m波段 $P_2O_5-SiO_2$ 包层低损耗单模光纤
日本古河电工 S. Sentsui, Y. Furui, K. Yoshida
and T. Kuroha 和 日本电报电话公司茨城电信研究所
T. Hasaka
5. 4 无色散区中的低损耗长单模纤维
日本住友电气工业股份有限公司 H. Yokota,
S. Tanaka, T. Nakahara, H. Kumamaru,
M. Hoshikawa 和 日本电报电话公司茨城电信研究所
T. Miya and T. Hosaka
5. 5 表面张力给纤维在平滑涂复时造成的影响
巴西坎皮纳斯大学 H. Bochove 和 巴西茨皮纳斯
TELEBRAS, J. M. L. Costa
5. 6 在光纤拉丝时用双锥形喷嘴沿线进行双层硅酮涂复
日本藤仓电缆厂 M. Satō, O. Fukuda, R. Yamauchi
and K. Inada

光纤机械特性

8. 1 对高强度光纤的研究与生产的评述(即特约 IV)
美国 Norcross 贝尔电话研究所 D. Kalish and
M. I. Schwartz
8. 2 用脉冲延迟技术分析被复光纤中的残余应力
英国南安普顿大学电子学系 A. J. Conduit,
A. H. Hartog and D. N. Payne
8. 3 光纤中的动疲劳和强度退化
美国康宁玻璃厂 S. T. Gulati
8. 4 用上限和下限法全面描述纤维的强度分布
西德慕尼黑西门子公司 H. Aulich, G. Kinshover,
H. Liertz and U. Oestreich
8. 5 由扭绞纤维带引起的纤维应力以及用预扭绞法予以减低
日本藤仓电缆厂 R. Yamauchi, K. Inada,

T. Kobayashi and Y. Sugawara

光纤传输特性 I

10. 1 呈现极低偏振双折射的单模光纤的分析、制造和特性(特约)
英国南安普敦大学 D. N. Payne, S. R. Noman,
M. J. Adams 和 英国中心电气研究实验所 A. M. Smith
10. 2 单模光纤中弯曲引起的双折射
英国中心电气研究实验所 A. M. Smith
10. 3 单模光纤偏振的自稳
西德马克斯——普朗克固体研究所 R. Ulrich
10. 4 单偏振单模光纤
美国 Holmdel 及 Murray Hill 贝尔研究所
I. P. Kaminow, J. R. Simpson and J. B. MacGhesney
10. 5 由热应力引起的光纤折射率分布畸变
美国康宁玻璃厂 G. W. Scherer

光纤传输特性 II

12. 1 用频域法来测定梯度光纤中的模间色散
法国国家电信研究中心 L. Jeunhomme,
P. Lamouler and F. Alard
12. 2 中子辐射对光纤损耗和色散的影响
美国金斯顿罗德艾兰大学电机工程系 R. Rao,
S. S. Mitra and A. J. Corey
12. 3 多模光纤里的滤波作用
英国普莱塞艾伦克拉克研究中心 W. J. Stewart
12. 4 套料和成缆后的光纤在低温下损耗增加的机理
日本藤仓电缆厂 Y. Sugawara, T. Kobayashi,
M. Tanaka, A. Mogi, K. Inada 和
日本电报电话公司茨城电信研究所 K. Ishihara
12. 5 高二氧化锗光波导
美国康宁玻璃厂 R. Olshansky and G. W. Scherer
12. 6 用 VAD 法制作的梯度型光纤的特性
日本住友电气工业股份有限公司 S. Suzuki,

T. Kuwahara, G. Tanaka, M. Yoshida, M. Kyoto,
T. Nakahara, H. Kumamaru 和 日本电报电话公司茨
城电信研究所 H. Takada, N. Inagaki and
K. Kitavama

(下)

光 纜

7. 1 海底光缆 (特约, 未收到)

美国国际电报电话公司电—光产品部 J. E. Goell
and R. Thompson

7. 2 胶体填充光纤光缆

日本住友电气工业公司 H. Horima, S. Tanaka,
T. Nakahara and H. Kumamaru 和 日本电报电话公
司电信研究所 K. Ishihara

7. 3 被覆光纤和光缆单元的最佳结构的确定

日本电报电话公司电信研究所 K. Ishihara,
S. Mochizuki, N. Nakatani and N. Uchida

7. 4 单模纤维的成缆

美国 Holmadel and Murray Hill 贝尔研究所
P. Kaiser, W. G. Franch, D. L. Bisbee and
J. W. Shiever

7. 5 高密度低损耗光纤单元和成缆

日本藤仓电缆厂 K. Inada, R. Yamauchi,
Y. Sugawara, T. Kobayashi, H. Suzuki 和
日本电报电话公司电信研究所 K. Ishihara

耦合与转换 I

6. 1 用于单模光纤传输系统的新式耦合技术 (特约)

荷兰飞利浦研究实验所 G. D. Khoe

6. 2 低损耗单模纤维的电弧熔接

日本藤仓电缆厂 A. Arai, O. Watanabe, K. Inada 和
日本电报电话公司电信研究所 Y. Katsuyama

- 6.3 用于多模光纤的硬舌簧式通路开关
西德慕尼黑西门子公司研究实验所 M. Stockman
G. Winzer and E. Grassl
- 6.4 机械操作四路光纤转换开关
美国Norcross 贝尔研究所 R. B. Kummer,
S. O. Mettler and O. M. Miller
- 6.5 视角星形耦合器
日本三菱电气公司 Yoshio Miyake, Akihiro
Adachi and Toshio Takei

耦合与转换 II

- 9.1 用于连接纤维带的真空辅助塑料修理接头
美国Norcross 贝尔研究所 A. H. Oberin
P. J. Rich and O. J. Aloisio
- 9.2 用特别适合于注模压制的热塑性塑料制作实用化活动光纤连接器
荷兰飞利浦研究实验所 G. D. Khoe, H. W. W. Smulders
and A. J. J. Franken
- 9.3 选择侵蚀和融化工艺来制造具有球形端面的耦合光纤
挪威Trondheim挪威工艺研究院
S. Hopland and A. Berg
- 9.4 棒状透镜光纤连接器
英国邮政总局研究中心 J. O. North and I
J. H. Stewart
- 9.5 用背向散射法测量接头的插入损耗
荷兰邮电研究所 P. Matthijse and O. M. de Blok
- 9.6 背向散射结果分析用于光缆连接
法国国家电信研究中心 A. Le Boutet

光纤测试技术

- 14.1 各种光纤特性测试方法的比较(特约, 另见特约 II)
意大利电信中心研究实验所 B. Oosta
- 14.2 用锁模同步泵激染料激光器系统测试POVD光纤色散

西德亚察菲利浦公司研究实验所 P. Geittner

- 14.3 1.1—1.3 μ m 光谱范围的单模纤维色散测试
——脉冲同步法

美国新泽西州 Holmdel 及 Murray Hill 贝尔研究所
Chinlon Lin, L.G. Cohen, W.G. French and
Presby

- 14.4 用 X 射线非破坏性检验技术测量光纤预制件的芯径与掺锗浓度分布的应用研究

日本古河电工中央研究实验所 H. Takahashi,
S. Shibuya and T. Kuroha

- 14.5 用于长距离光纤通信的光纤故障点测定方法

日本关西电力公司 T. Asahara 及 日本电气公司
Y. Ueno, M. Shimizu and S. Naruse

光纤理论

- 17.1 纤维与光波导理论研究组报告(特约, 未收到)

法国 Limoges 大学 J. A. Arnaud

- 17.2 与折射率分布无关的单模纤维的近场和远场特性表示法及其在确定纤维参数方面的运用

西德 Wuppertal 大学 E. Brinkmeyer

- 17.3 从纤维的折射率分布计算带宽

美国 Holmdel 贝尔研究所 D. Marcuse and
E. M. Presby

- 17.4 单模和梯度多模纤维光缆的随机弯曲损耗

日本东京工业大学物理电子学系 K. Furuya and
Y. Suematsu

- 17.5 长距离梯度折射率纤维带宽的估算

日本电报电话公司横须贺电信研究所 T. Matsumoto,
K. Sato, K. Nakagawa and K. Hashimoto

特约论文

- II. 各种光纤测试方法的比较

意大利电信中心研究实验所 B. Oosta

IV. (见8. 1)

迟到论文 II

19. 1 熔凝二氧化硅纤维光波导的静疲劳变迁
美国新泽西州Murray Hill贝尔研究所
John T. KiauSe
19. 2 光波导长期负载的设计应力
美国康宁玻璃厂 R.D. Maurer
19. 3 长波长的低损耗梯度折射率长纤维
日本住友电气工业股份有限公司
H. Yokota, K. Iwasaki, H. Kumamaru 及
日本电报电话公司茨城电信研究所 H. Takata
19. 4 美国光波导厂商最近的光纤衰耗测量结果的比较
美国科罗拉多州博尔德国家标准局电磁技术部
G.W. Pay and G.E. Chamberlain
19. 5 旋转连接、锥形的光纤星形耦合器
日本东芝研究发展中心 Sigeru Ohshima and
Takeshi Ozeki
19. 7 $10.6\mu\text{m}$ 多晶卤化银纤维的性能
美国明尼苏达州布卢明顿霍尼威尔共同材料科学中心
D. Chen, J. Garfunkel, R. Skogman and
H. Vora
19. 8 光通信纤维的端面加工
中国北京大学物理系 刘弘度 林祥芝 崔晓明

第 三 分 册 目 录

(上)

光纤工艺 I

3. 1 在汽相轴向沉积法中通过控制火焰水解反应降低氢氧根含量
日本藤仓电缆公司 T. Moriyama, R. Yamauchi,
K. Sanada, O. Fukuda, S. Ohigira 和 日本电报电话
公司茨城电信研究所 T. Maahiro
3. 2 用双坩埚法制作低损耗渐变折射率纤维
英国邮政总局研究中心 K. J. Beales, O. R. Day,
W. J. Duncan, A. G. Dunn, P. L. Dunn, G. R. News,
J. V. Wright
3. 3 低损耗、高数字孔径的光纤维
英国邮政总局研究中心 K. J. Beales, O. R. Day,
W. I. Duncan, A. G. Dunn, P. L. Dunn, G. R. News
and S. Partington
3. 4 军用大芯径光纤
英国标准电信研究所 J. Irven
3. 5 等离子激活化学气相沉积工艺中衬底温度对沉积特性的影响
西德亚琛飞利浦股份有限公司研究所 D. Kuppera,
J. Koenings and H. Wilson
3. 6 长单模低损耗二氧化硅纤维的制备
英国邮政总局研究中心 B. J. Ainslie, P. W. France,
O. R. Day, K. J. Beales, G. R. News

光纤工艺 II

5. 1 用 V. A. D. 法制作的梯度型光纤的折射率截面分布
日本藤仓电缆厂 K. Sanada, T. Shioda, T. Moriyama
K. Inada 和 日本电报电话公司茨城电信研究所
M. Kawachi and H. Takata

纤维。

本文提出，在氢氧焰中，火焰水解反应和脱水作用对玻璃颗粒形成的影响以及用 V. A. D. 工艺制造低氢氧根含量纤维的适当条件。

3. 实验

图 1 示出了 V. A. D. 制造法的方框图。在氢氧焰中，用水解法由氢来合成精细玻璃颗粒，并且沉积在靶面的一端。以与粉尘预制棒生长的相同速率向上拉种子棒。拉速以检测粉尘预制棒末端的生长速率来自动控制。用高温计监控来维持多孔预制棒生长端的表面温度恒定不变。预制棒大约为 $52\text{ mm } \phi \times 300\text{ mm}$ 长。为了制作透明的玻璃棒，依靠氢气的流量，在电炉中将多孔预制棒加热到 1450°C 。所有上述过程全都是在由流量控制器控制的非常稳定的气流速率下进行处理的。从以上粉尘预制棒获得一根 $23\text{ mm} \times 130\text{ mm}$ 透明的预制棒。然后，为了要在拉成纤维后，调整芯和纤维的直径，把预制棒均匀地拉成直径 10 mm 并插入到 14 mm 内径、 26 mm 外径的石英管中。

由测试 $0.95\text{ }\mu\text{m}$ 时，纤维的吸收损耗来确定预制棒中的氢氧根含量。为了减少 V. A. D. 纤维中的氢氧根含量，已经研究了玻璃颗粒形成中的某些条件如下：

(1) 氢气流量：

在氧气流量不变的情况下，氢气与氧气之比在 0.4 到 0.6 的范围内变化。

(2) 靶面温度：

为了研究含水量的影响，靶面温度的三种情况选择为 1050°C ， 1100°C 和 1200°C 。

(3) 在火焰中增加氯气的作用：

氯气加到具有卤化物 (SiO_2 、 BBr_3 、 POCl_3 、 GeOCl_2) 的氢氧焰中，以便研究利用吸附氢离子的氯气的脱水作用。

(4) 预制棒中整体密度的影响

在沉积温度不变的情况下，在 2.0 到 4.0 的范围内改变蒸气

中的掺杂剂含量比 Mv ，以研究颗粒的大小和整体密度。因为反应物的局部压力对粉尘的形成过程有很大的影响。 Mv , $(BBr_3 + PoCl_3 + GeCl_4) / SiO_2$

4. 结果和讨论

4. 1 氢气流速和OH根含量之间的关系

图2示汽相沉积法中氢气流速和氢氧根含量之间的关系。实验结果表明了在沉积过程中，减少氢气对氢氧根杂质的影响。因为增大氢气流速将使火焰中含高氢氧根离子。从图2可见：控制火焰水解反应可减少预制棒中的氢氧根含量。

4. 2 靶面温度和预制棒之间的关系

图3示波长为 $0.95 \mu m$ 时纤维的氢氧根吸收损耗和靶面温度之间的关系。在粉尘形成的过程中，为了防止由玻璃化形成的多孔预制棒，最高温度为 $1200^\circ C$ 。从图3可知，靶面温度越高，氢氧根含量就越低。例如，在热氧化反应和水解反应中， SiO_2 的活化能分别为 $80-90$ 千卡/克分子，和 45 千卡/克分子[8]。热氧化将不像水解反应那样易于反应，因为热氧化的活化能小于水解反应的活化能。结果，热反应本征合成低OH含量的预制棒，而靶的较高温度将制成低氢氧根含量的纤维。

4. 3 火焰中氯气对脱水的影响

图4示波长为 $0.95 \mu m$ 时，由于纤维的OH离子产生的吸收损耗和沉积时火焰中的氯气含量之间的关系。很清楚，用增加氯气的方法，纤维中的OH根吸收损耗从 $5-30 ppm$ 降到了 $0.8 ppm$ 。该结果表明：多孔玻璃棒形成的过程，存在有氯气的脱水作用。

4. 4 预制棒整体密度对脱水的影响

已经预料，整体密度对纤维中的氢氧根含量有影响。因为脱水机理与多孔玻璃颗粒中由氯气置换OH离子有关。一般地说，如果多孔玻璃棒的密度小，纤维中的氢氧根含量将减少。增加 BBr_3 和 $PoCl_3$ 时，玻璃化温度将降低。粉尘预制棒将变得较为紧密。另一方面，增加 SiO_2 将导致较高的玻璃化温度。然而，从我们的实验结果可明

显地看出, 如图5所示, 氢氧根吸收损耗差不多与整体密度无关。

考虑到以上结果, 在粉尘形成之后, 不经过脱水处理工艺, 已制成低OH含量的纤维。图6示出了纤维的损耗光谱。在波长为 $0.84\mu\text{m}$ 时, 氢氧根含量为 0.3ppm , 而传输损耗为 2.1dB/km 。

5. 结 论

在汽相轴向沉积法中(V. A. D)中, 研究了氢氧焰中的火焰水解反应和脱水作用, 用以下条件来降低纤维中的氢氧根含量:

- (1) 减小氢气流速。
- (2) 在粉尘形成过程中增高靶的温度。
- (3) 在火焰中加入氯气。

在粉尘形成后, 不经过脱水处理工艺, 在预制棒中已经获得只有 0.3ppm 的残余水含量。在 $0.84\mu\text{m}$ 波长时的传输损耗为 2.1dB/km 。

参考文献:

- [1] T. Izawa, S. Sudo, F. Hanawa, T. Mashiro, 1978 Fourth European Conference on Optical Communication R. 30
- [2] M. Horiguchi and H. Osana, Electron. Lett., Vol. 12 No. 2, R. 310-312 Jun. 10, 1976
- [3] Keenings, J. Kupper, D. Lyatin et al, The Electro Chemical Society, Inc. (Sept. 1975)
- [4] Keck, and Schultz, U. S. Patent 3 711 262 (Jan. 1973)
- [5] T. Izawa, S. Kobayashi, S. Sudo, and F. Hanawa, 1977 International Conf. R. 375
- [6] D. R. Powers, Journal of American Ceramic Society Vol. 61 No. 7-8, R. 295

戴莱青 译
黄嘉义 校
龙费易 复核

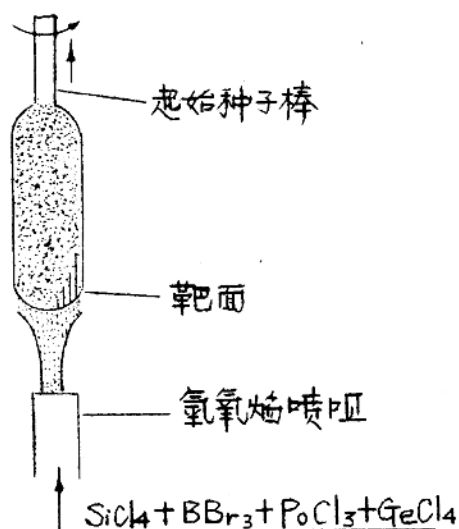


图1 V.A.D 法制造过程示意图

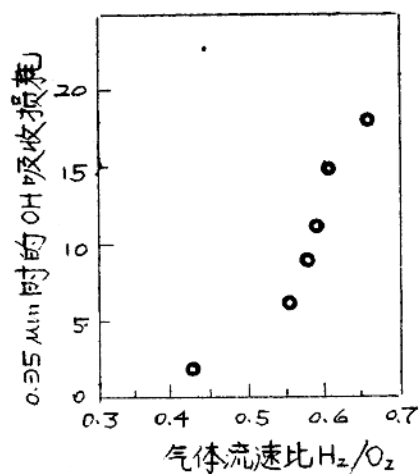


图2 氢气流速和 OH 含量之间的关系

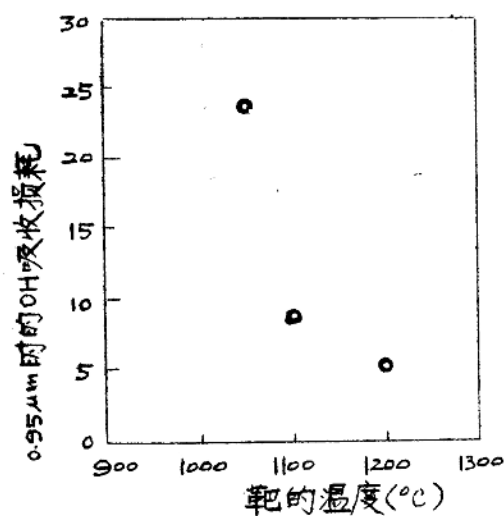


图3 靶面温度和 OH 含量之间的关系

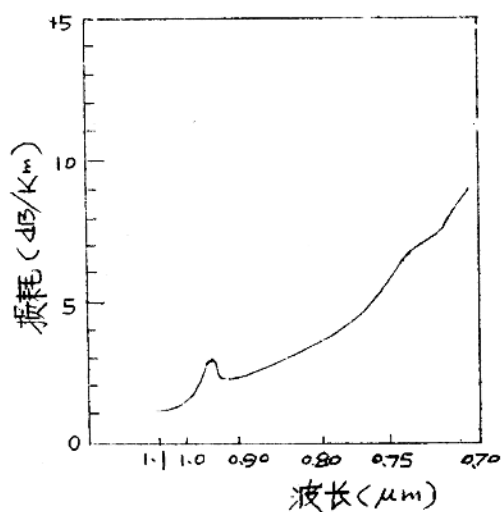


图4 在火焰中加入氯气对脱水的影响

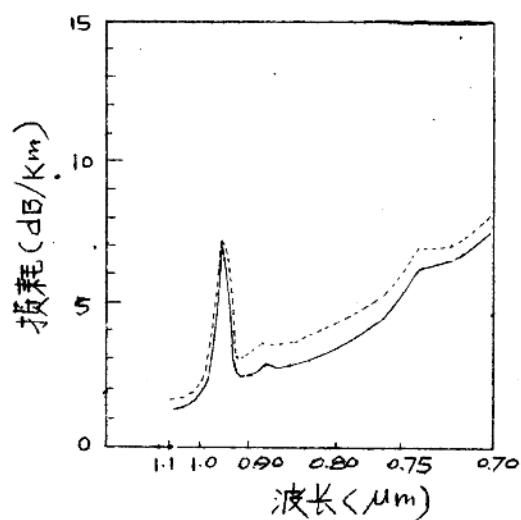


图 5 预制棒中整体密度对脱水的影响

—— $M_V = 2.0$, ---- $M_V = 4.0$,
 $M_V = (BBr_3 + POCl_3 + GeCl_4) / SiCl_4$

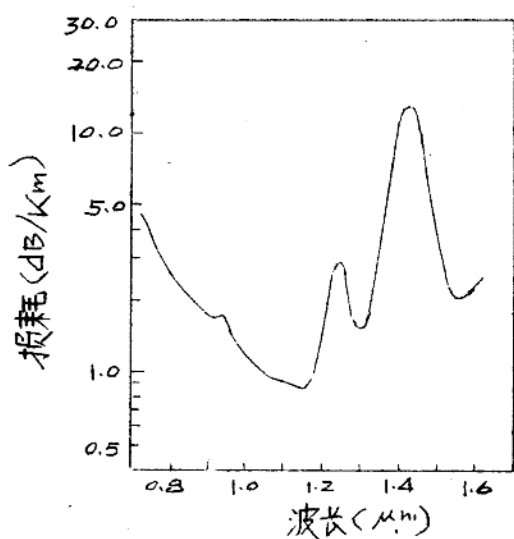


图 6 低OH 低损耗V.A.纤维的光谱传输损耗

用双坩埚法制作低损耗渐变折射率纤维

K J Beales, O R Day, W J Duncan, A G Dunn,
P L Dunn, G R Newns, J V Wright

英国邮政总局研究中心

摘 要

双坩埚法已用来制备长距离(长达16km)低熔融多组分玻璃渐变折射率纤维。折射率的渐变是由碱式硼硅酸钠玻璃中的碱土离子的热扩散形成的。已经报导了长度为230km的纤维的损耗和带宽。在850nm时,纤维的光衰减在3.5-5.5dB/km的范围内,而在800nm时,纤维的吸收损耗在1.4-2.7dB/km之间。三种玻璃纤维对的脉冲色散结果表明:带宽在100-900MHz·km的范围内变动。把实验结果和理论脉冲展宽作了比较,这种理论脉冲展宽是从测试折射率的截面分布中用光线跟踪法得出的。

引 言

使用低熔融多组分玻璃的双坩埚法是制备低损耗光纤的一种途径。(1-4)损耗低至3.4dB/km的阶跃型纤维已经有过报导。(2)但损耗低至5dB/km以下的渐变型合成玻璃纤维,以前尚缺报导。在这项研究工作中,为了提供折射率的渐变,我们用硼硅酸钠玻璃中的碱土离子的扩散来制成渐变折射率纤维。为了评价低损耗宽带宽纤维制备的适用性,已经对几个玻璃纤维对进行过研究。

实 验

在石英坩埚中熔化一炉高纯度的材料(熔料可重达2kg)来制作玻璃。从熔料的表面拉成棒(长度为1.5m,直径为1.2mm),并存放于石英管中,直到满足要求为止(5, 6)。将棒放入双坩埚内,以1.0-1.5km/小时的拉速拉成纤维。沿线监控纤维的外径,

在坩埚泄料时，用一个慢速反馈环路对绕丝设备进行控制，以使纤维外径保持于 $125 \pm 1 \mu\text{m}$ 不变。由坩埚的设计，将芯和包层的比率控制在 $50:125$ 。用有机硅树脂沿线涂复纤维，并且很快地从自动纤维拉丝机上拉出长达 16km 的纤维。总损耗是用一个钨丝灯/单色仪，光源在 0.25 的数字孔径下测量的，而吸收损耗则用热量计量法测得。（7）

结 果

a. 损耗

图1示一根长 4km 的纤维总损耗与波长的典型关系。图中显示在波长为 750 至 952nm 之间有一个损耗低于 5dB/km 的窗口。该纤维的数值孔径约为 0.2 。图2是从三种芯玻璃熔料中产生的纤维，在波长为 850nm 时总损耗的情况，图中每根垂直线代表纤维的连续长度。对每种芯熔料来说，总损耗的展布范围大约为 1dB/km 。波长为 $850\mu\text{m}$ 时，所有长 230km 的纤维具有的总损耗在 $3.5-5.5\text{dB/km}$ 范围内。波长为 800nm 时，所具有的吸收损耗在 $1.4-2.7\text{dB/km}$ 范围内。

b. 折射率分布

双坩埚纤维折射率的渐变是由芯和包层玻璃之间改变折射率的离子在它们流经包层喷嘴时发生热扩散形成的（5，8）。折射率的分布情况由实验参数（扩散长度，芯玻璃流的直径，和喷嘴温度）以及使用的玻璃成分（扩散系数，沾滞性）来决定。实际上，对于一特定双坩埚中给出的玻璃纤维来说，随着实验参数的变化，折射率分布仅仅呈现小的变化。例如，提高喷嘴温度本来会增大玻璃流速率，但这可由改进的扩散率来加以补偿，因而对于 $0.6-1.5\text{km/小时}$ 的拉速（外径为 $125\mu\text{m}$ 的纤维）来说测出的折射率分布并无多大变化。

然而，改变芯和包层的玻璃成分，对折射率分布有很大的影响。图3示在同一实验条件下、以同一坩埚、使用相同包层玻璃的三种芯玻璃成分制作的三种纤维的折射率分布情况。

带 宽

图4示脉冲展宽测试中反映出的渐变形式的改进情况。图5示长为230km的三种纤维的带宽结果。每根垂直线表示纤维的不同连续长度。对于较缓慢的渐变纤维A(130km),测得的脉冲色散在3.5—7.0 ns/km范围内。B型纤维(65km)的结果在1.0—4.0 ns/km之间,而在O型纤维中,改进了的渐变情况得到脉冲色散小于2 ns/km的结果,有些值还小于1 ns/km。输出脉冲具有与各个模群相对应的分立峰,而且在长距离上(>6km)与发射条件有关。以上表明,在这些纤维中,模耦合作用是很小的。

假设所有的模均被激发和传播,从使用光线跟踪法所得的三种分布中可获得理论脉冲响应函数。图5中用箭头指出了A、B、O的值分别为84, 150和250 MHz·km。理论上的结果与每种类型纤维的最低测试带宽正好一致。测得的较高带宽可试用大角度光线的微分模损耗来加以解释。

参考文献

- 1 T Yamazaki and M Yoshiyagawa 1000(1977) 617-620
- 2 K J Beales, O R Day, W J Duncan G R Newns Electronics Letters 13 24 (1977) 755-756
- 3 SS Takahashi and T Kawashima 1000 (1977) 621-623
- 4 M H van Ass, R O Gossink, P Severin Electronics Letters 12 369 (1976)
- 5 G R Newns 2nd European Conference Optical Communications Paris 21-26 (1976)
- 6 K J Beales, O R Day W J Duncan J E Midwinter G R Newns Proc IEE 123 6 (1976)
- 7 K I White Optical and Quantum Electronics 8 73-75 (1976)

8