

光 纤 通 信 国 外 文 献 汇 编

(二)

邮电部武汉邮电科学研究院情报室编

一九八六年十二月

1. 光缆材料方面的问题.....	1
2. 光纤技术及其应用: 第二个二十年的展望.....	10
3. 超长波长光纤材料.....	12
4. 在 $1.5\mu\text{m}$ 波长区极低损耗单模光缆的设计和特性.....	21
5. 高质量光纤制造技术.....	32
6. 光纤设计的进展.....	44
7. 各种光纤在超低损耗和超带宽方面的竞争.....	53
8. $1.5\mu\text{m}$ 波段 InGaAsP 谐振型激光放大器.....	67
9. 用于光纤局部网的器件.....	86
10. 光半导体器件的可靠性保证.....	105
11. 用于光波系统— 1.3 和 $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP 激光器的性能比较.....	119
12. 光学用户系统用半导体激光器.....	144
13. 欧洲光纤本地网络的进展.....	153
14. 用于 Gb/s 光纤数字线路的单片集成 OMI 码编译码器.....	165

15. 在安装的32 km线路上, 2Gb/s和	
2. 4Gb/s的光传输场地试验.....	169
16. 应用1.3 μm边缘发射LED在单模纤	
维中的42 km模拟视频信号传输.....	173
17. Gb/s超高速光传输技术.....	177
18. 使用相位调制的400 Mb/s和1Gb/s	
速率在150 km长的光纤上的相干光波传输.....	187
19. 利用T1: LiNbO ₃ 外调制器通过117km	
光纤的4Gb/s传输试验.....	191

光缆材料方面的问题

折茂腾已 (古河电工公司)
西村真雄

光纤通信方式在信息社会中对信息传递将起到主导作用,所以光纤通信的开发速度极其迅速。不过,在所使用的材料方面尚存在许多研究课题。

光纤的种类繁多,本文不可能对所有光纤材料一一进行介绍,只以通信用的石英光纤为重点,介绍制棒材料、涂敷材料。光缆材料方面存在的问题。

通信用石英光纤材料的问题。

1. 预制棒材料方面的问题

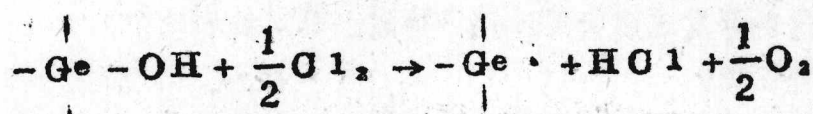
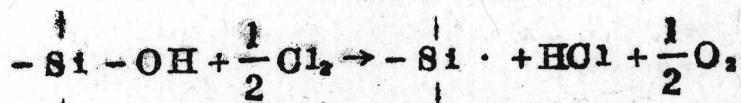
(1) 要求的特性和材料方面的问题

a. 低损耗特性

与光纤材料有关的损耗因素可列举出如下几点。(1)吸收损耗(紫外~红外区域的杂质, OH^- 、 H_2 分子, SiO_2 或 GeO_2 的振动、结构缺陷等等);(2)散射损耗(瑞利散射、结构不完整散射、拉曼散射);(3)弯曲损耗(均匀弯曲损耗、随机弯曲损耗)。其中,跟制棒使用的材料密切相关的是(1)和(2)(瑞利散射),尤其是过渡金属的影响大。1ppb的过渡金属在不同的光波长上产生的吸收损耗示于图1中。现在使用 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.3\mu\text{m}$ 光波长,估计将来要使用 $1.55\mu\text{m}$ 波长,传输损耗要达到 0.2dB/km 。如果根据图1来判断,光纤内的过渡金属含量应当小于百分之一个ppb。为此,四氯化硅、四氯化锗中过渡金属的含量应当降低到ppb级。而且,需要充分注意容器中不要混入上述杂质。

如果光纤中含有一个ppm的 OH^- ,在 $1.4\mu\text{m}$ 附近会产生 60dB/km 左右的吸收损耗。处于 $1.5\mu\text{m}$ 吸收峰两侧的 $1.3\mu\text{m}$

和1.55 μm 波长上。也因为吸收峰值的影响而光损耗增加，因此，希望尽可能降低1.4 μm 附近的OH吸收损耗。如前所述，棒外化学气相沉积法和轴向气相沉积法采取了在H₂气流中加入O₂，通过发生下述化学反应来脱去玻璃粉末沉积物中的水分。



如果在H₂、O₂中混入了H₂O，玻璃会残留一些-OH，残存量的多少随H₂O的浓度而异，因此，要尽可能去除H₂·Cl₂中的水分。

MCVD法要通过供给氧气流使SiCl₄、GeCl₄在石英管中发生氧化反应，应当尽量降低O₂中的含水量。

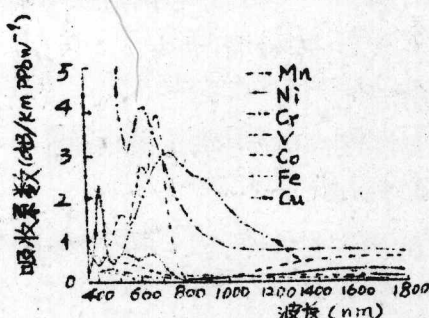


图1 光纤中的过渡金属杂质产生的吸收损耗(横轴表示波长,纵轴表示1ppb的金属产生的损耗)

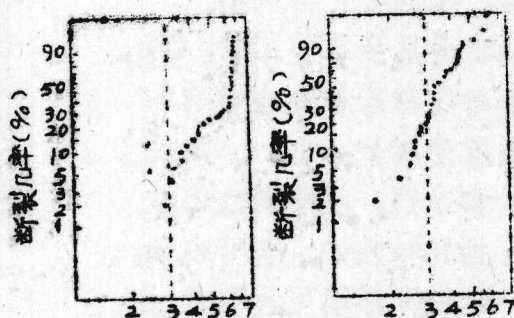
定量分析合成原料及SiO₂ (石英管、合成石英棒)中含有的微量过渡金属杂质的方法，从原材料管理方面来说是很重要的。由于

原子吸光法(无火焰)的出现，在分析技术方面已经解决，但是，最好开发便于日常管理使用的简易方法。

b. 天然石英存在的问题

MCVD法使用的反应管、VAD法使用的套管，几乎都是用巴西出产的高纯石英、北美出产的石英砂作原料制成的。制作时将材料粉碎、提纯、熔融、拉制成管。管内残留的气泡或杂质形成的

内部缺陷。对拉制成的光纤是否发生低强度部分产生很大影响。采用几乎检测不到 $1\mu\text{m}$ 左右的气泡的天然石英管制成光纤A，采用能观察得到许多气泡的石英管制成光纤B，把光纤A、B制成 10m 长的样品进行拉伸试验，这两种光纤的断裂强度的韦伯尔分布如图2。



拉伸断裂强度(kg)

样品A (n=50)

拉伸断裂强度(kg)

样品B (n=50)

图2 断裂强度的韦伯尔分布

由图可知，对石英管中的气泡，缺陷要严格控制。

最近，为了获得高质量，已经开始使用合成石英管，在光纤强度方面获得了良好的结果。很有发展前途，但是供给数量不足，而且价格是天然石英管的数倍。希望能稳定地供货和降价。

• 光纤的防水性和材料的关系

1982年6月，NTT茨城研究所在已敷设了两年的GI型光纤中发现 $1.3\mu\text{m}$ 波长处的损耗显著增大。此外，KDD研究所也发现，在海中进行浸水实验的光缆出现了 H_2 ，引起的损耗增大现象。后来，不论是国内外，都迅速地展开了这方面的研究，以便分析在长波长区光纤损耗随时间变化的原因及改善措施。而且已证明硅树脂吸收的水分或者渗透的水分通过光缆内的金属构件电解产生 H_2 ， H_2 向石英材料扩散。 H_2 分子在 $1.24\mu\text{m}$ 有吸收损耗，跟石英玻璃内结构有缺陷的部位原子结合而形成的 $\text{Si}-\text{OH}$ 、 $\text{Ge}-\text{OH}$ 结构，在 $1.39\sim 1.42\mu\text{m}$ 波长区产生吸收损耗。另外，为了降低玻璃的软化温度，在光纤中掺入了 P_2O_5 ，在这种材料的光纤中明显地出现 OH 吸收损耗增大现象。图3表示 P_2O_5

的浓度与损耗增大的关系。

现在，或者是完全不使用 P_2O_5 ，或者只在对实用寿命没有影响的用量范围内使用 P_2O_5 。如果研制新的掺杂剂，能降低软化温度、初始损耗特性好，包括抗H₂特性在内的长期环境可靠性好，能取代 P_2O_5 ，这种掺杂剂就会得到运用。

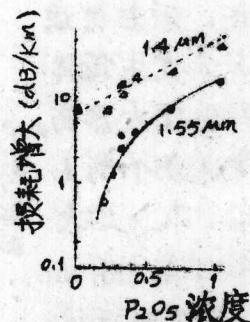


图3 有硅树脂涂层，含 P_2O_5 的MOCVD光纤在氢气气氛中加热时损耗增大

(2) 经济问题和货源问题

向信息社会发展的进程中，需要增大信息传输量，降低传输系统成本以及提高可靠性。光纤通信系统对这些条件都能满足，但是，为要尽快推广使用，必须竭尽全力降低产品成本。在原材料方面，要早日实现低价格的合成石英管。在超高纯度的材料方面，依靠从外国进口的原料要实现国产，生产四氯化锗用的矿石在地球上的储藏分布不广泛，需要建立一种替代技术，既降低成本又能稳定的供应。

2. 光纤涂敷材料

(1) 要求光纤涂敷材料应具备的特性

为了保持通信中使用的石英系光纤的固有强度，在拉丝之后立即涂敷一层或者涂敷多层橡胶或塑料，而且，还可以按照需要实施二次涂敷。要求这些涂敷材料具备如下特性。

- a. 保护光纤强度的功能好。
- b. 适合于高速制作。
- c. 成缆。敷设不会增大损耗。
- d. 敷设后的温度特性，长期可靠性好。

(2) 各种涂敷结构

如果有不均匀的侧压力作用在光纤上，就会产生微弯曲，导致传输损耗增大。充分考虑这种因素之后，各国采用了跟光缆结构协

调的多种涂层结构（如图4所示）。紧套缓冲型和松套型两种结构的抗侧压力特性好，可以运用于在加强线周围绞合涂敷光纤的光缆结构。与此相反，细径涂层结构的抗侧压力特性不好，适合于不受侧压力的带式光缆或V型槽型结构光缆。

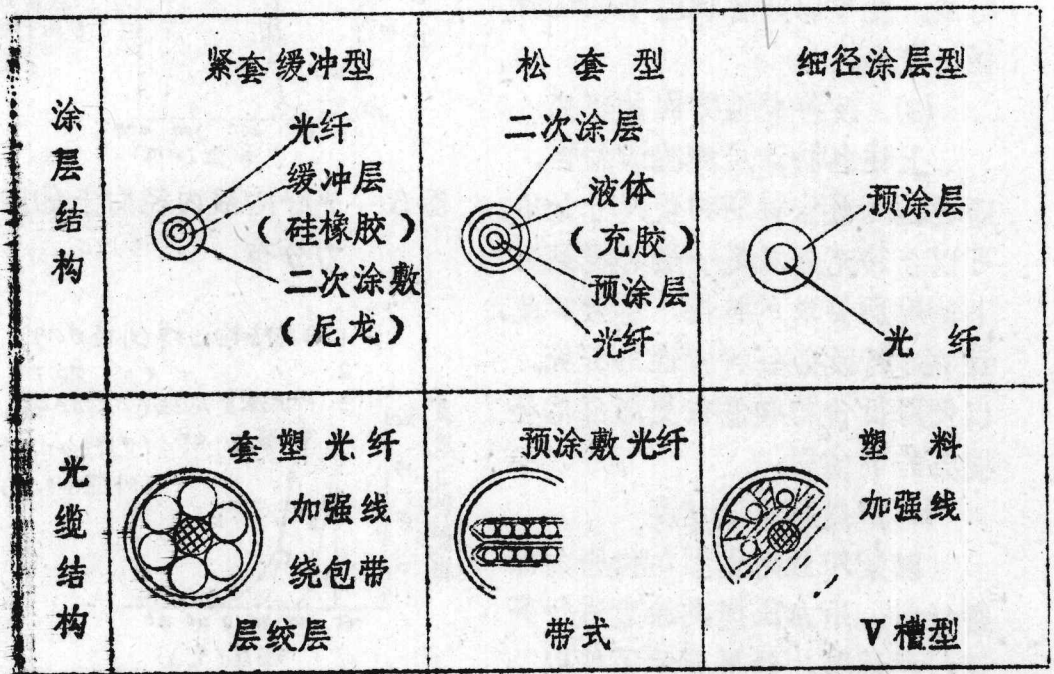


图4 各种光纤涂层和光缆结构

紧套缓冲型光纤受到外应力作用时，经向应力分布（理论值）

示于图5。即使是相同的涂层外径，设置缓冲层的情况（3层结构）和不设置缓冲层的情况相比，前一种光纤中心的应力值减小到后者的 $1/100$ 左右。套塑层多半采用以尼龙为主的热可塑性树脂，为满足特殊用途，还研制出了使用玻璃纤维增强的热固化树脂涂敷的FRP心线。

对于抗侧压力型的涂层结构，需要适当增大二次涂层材料的杨氏模量及涂层厚度。因此，在低温下套塑层的压缩力作用于光纤，

使之产生微弯曲, 导致损耗增大。各种涂层的温度特性例示于图6。对于图7中的加强线, 采用热膨胀系数小的金属或FRP棒材料制成, 就可以减轻低温下的这种损耗增大。

(3) 改善特性方面的研究

上述各种涂层和光缆结构, 通过选用最佳材料和使尺寸最佳, 可以获得充分满足一般环境条件下使用所要求的特性, 尽管如此, 还在进行改善各种特性的研究, 以便降低价格和能在更恶劣的环境条件下使用。

a. 提高制造速度

以紫外线固化型的树脂为涂敷材料, 用加压模具涂敷进行高速拉丝试验, 结果展示了能以 1200 m/分钟 的速度拉丝。由图7可以看出高速拉丝有略微降低传输损耗的倾向。

b. 改善温度特性

为了改善光纤心线的温度特性, 正在研究高杨氏模量、低热膨胀系数的二次涂敷材料。采用液晶聚酯材料(LCP, $\alpha \approx 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $E \geq 5\text{ GPa}$)涂敷的紧套缓冲型心线, 采用取向聚氧亚甲基(POM, $\alpha \leq 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $E = 20 \sim 60\text{ GPa}$)材料制作的松套光纤心线, 在 $-60^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ 的范围内损耗并不增大。前者的温度特性示于图8中。今后对这些材料要进行实用性的研究。

c. 提高可靠性

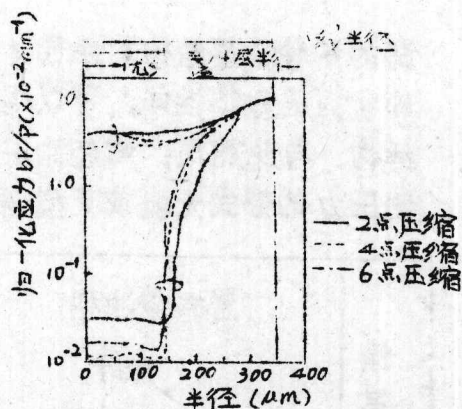


图5 光纤心线内径向上的应力分布

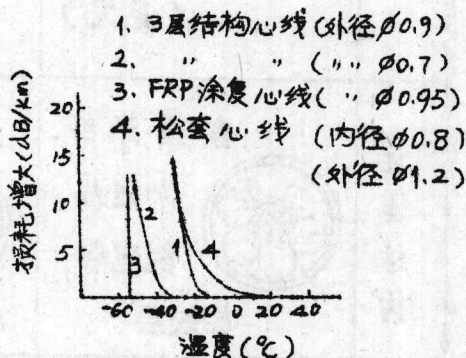


图6 在低温下损耗增大

如果较小的应力长时间地作用在光纤上，结果光纤会断裂。众所周知，这种现象称为静态疲劳，这种现象在给定筛选应力或设计光缆中的残留应变时得到应用。疲劳系数的值 n 随温度、湿度不同而不同，也受涂敷材料的影响，已报导的 n 值在15~40范围内。为了在高温下使用，在研究金属涂敷，涂敷金属的光纤在静态疲劳方面也显示出了优异的特性。由图9可知，普通聚合物涂敷的光纤，随着应变速度的降低，光纤强度下降，而用铝涂敷的光纤的强度几乎与应变速度无关，显示出了良好的疲劳特性。但是，要降低金属涂层的厚度很难，涂敷工艺要增大几分贝的传输损耗，因此，在一般通信领域还不适于使用这种光纤。

如果光纤外部有水存在，氢会渗入玻璃内部，导致红外波长区域中的损耗增大。然而，据报导，如果用CVD法给光纤涂敷大约200Å厚的硅酮氧氮化物，透氢特性就得到大幅度改善，但是不便大量生产。

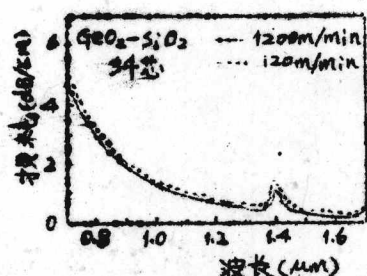


图7 以1200和120m/分钟的速度把同一根预制棒拉成光纤获得的损耗谱

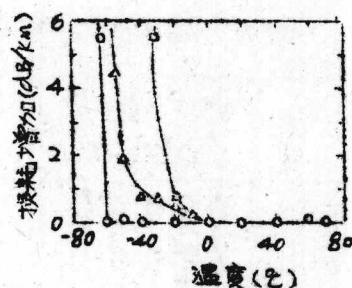


图8 光纤损耗与温度的关系

- ：聚酯涂层A
- Δ：聚酯涂层B
- ：尼龙涂层

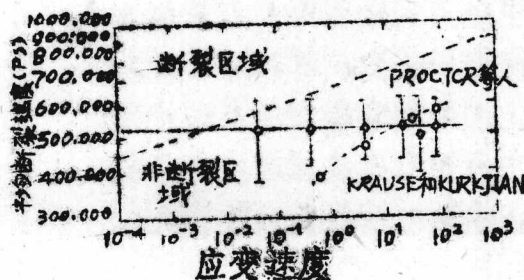


图9 普通光纤、金属涂层光纤的断裂强度与应变速度的关系

- ◇ 涂铝光纤 (15μm厚)
- 普通光纤

3. 光缆材料

为了减小光纤伸长,采用了表2所列的各种加强线。对于加强线的特性,要求杨氏模量高,热膨胀系数小,比重小而且抗压缩应力。要跟电力电缆一起架设的光缆,要求其中没有金属材料,但是,使用聚酰氨及FRP纤维作为加强线时,从上述要求来看有长处也有缺点,希望进一步改善其特性。

就氢会引起损耗增大而言,最好尽量选择产生氢很少的材料作为光缆的组成材料。例如,评价填充光缆的混合物在高温下产生氢气的量,在氧气氛中产生的氢多,通过加入防氧化剂,就能获得降低氢气量的效果。

4. 塑料光纤(POF)使用的材料

与高性能的石英系光纤不同,纤芯和包层由塑料组成的塑料光纤,直径粗,数值孔径大,加工光纤末端容易,以机器内部的布线和短距离线路应用为主,预计对塑料光纤的需求今后会不断扩大。

表2 加强线材料的特性

材 料	杨氏模量 (kg/mm^2)	热膨胀系数 $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	比 重
钢 线	20000	11	7.8
铜 线	12000	17	8.9
铝	7000	24	2.7
FRP	3000	5	2.0
聚酰氨	13000	-2	1.4

纤芯材料用聚苯乙烯(PS)或聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),为了延长可传输的距离,正在开展降低损耗的研究。PMMA纤芯塑料光纤的主要损耗因素示于图10中。采用完全密封的系统把含杂量降低到极限程度,结果使瑞利散射或结构不完善损耗显著降低。在降低损耗方面遗留下来的主要问题是减少O—H振动吸收损耗,

通过采用重氢置换的PMMA制作纤芯，最低损耗已达到20 dB/km。今后，如果能实现低价格，这种光纤的适用范围就会进一步扩大。

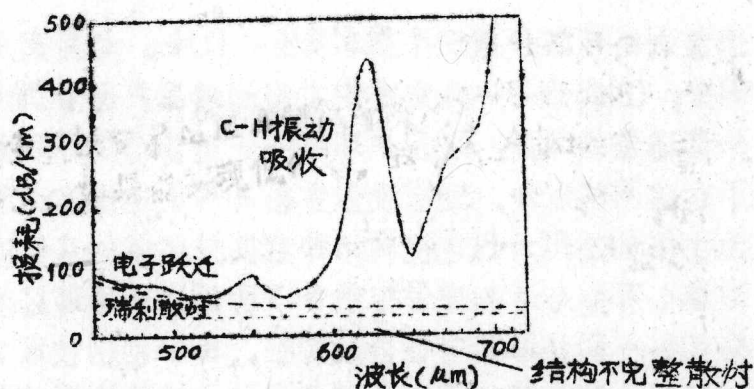


图10 PMMA纤芯光纤的损耗谱和造成光损耗的主要因素

译自日刊《工业材料》Vo 1. 33 No. 6

李先源译

赵灵基校

光纤技术及其应用， 第二个二十年的展望

现代的通信网络可以分成三个基本部分，(1)长、短距离的交换中心之间的部分，(2)馈线——从交换中心至远端用户房屋的分布点或工厂设备外部通信的部分，(3)用户环路——至各个用户的最后一段路程。除了通信网络以外，还有设置完善的用于电视节目散布的以同轴电缆为主体的公用天线电视网络和在机关团体的房屋范围内为提供数字通信（可能与话频通信相结合）所形成的局部区域网络。

这些网络的每一部分都具有各自的特征，其中包括技术方面的和经济方面的特征。这些特征决定着从铜线往光纤转换所采取的技术和速度。对这些特征将提出必要的说明并根据将来的技术和应用确定其工程设计。

光纤技术正迅猛地打入长途中继线的市场。（不论是陆上的还是水下的）。这个动向将随制作的光纤在 1.55μ 处衰减的降低和随波分复用相干系统的进展使带宽距离乘积增大而延续下去。

由于光纤系统在市内通信场合的中继线和馈线距离短。在现场没有使用中继器以及相关的维护费用低。这些就将促使在主要部分采用铜线线对的情况产生改变。这本身也将导致通信量更高度聚集在更少数通路上，同样也将导致市内网络进行必要的调整。由于在技术上不要求进行较多的改变，所以朝全光纤网络的进展将更多地取决于充分利用现有的长波长单模光纤传输技术的固有带宽距离乘积的网络结构的进展。

以光纤为基础的用户环路系统的广泛而昂贵的实验目前正开始进行中。这主要是在欧洲和日本。由于此类系统的成本高和取得收益的指望不确定。因此在光纤的采用可以获得效益以前必须取得主要的技术和结构方面的突破。人们将推测出需要取得此类突破的区域和取得这些突破的可能性。

高速率光纤局部网络技术就是如此，而且耗费不多。另一方面，

在使用专用小交换机在绞合铜线对上以高达若干Mb/s 线路速率进行传输用于话音和数字综合通信方面对光纤的需求还很不确定。当进行较高速率数字通信业务的需求提高时，将在环状网络的分支部分，采用光纤连接专用小交换机。以后将简要介绍取得这种进展的技术方面的原因，其中也将说明小型低速率光纤局部网络可采用星形和改进的树状结构进行施工，但这些结构最适用于单一的数字通信。

李恩平译

潘中浩校

超 长 波 长 光 纤 材 料

板 田 浩 伸

1. 序 言

石英系光纤经过七十年代的集中开发，终于确立了制作技术，结果在公用通信业务、LAN（本地通信网）、工厂的数据通路方面迅速实用化。对于 $\lambda < 2 \mu\text{m}$ 的波长范围，制作出透明的石英系光纤，光损耗为数 dB/km 。另一方面，对于 $\lambda > 2 \mu\text{m}$ 的近红外波长范围，在理论上预计，材料的光损耗比石英低2个数量级（ $\sim 10^{-3} \text{dB/km}$ ），所以各公司积极开展非石英系红外光纤的研究。作为非石英系光纤材料有硫碲砷化合物玻璃、氟化物玻璃、卤化物晶体及玻璃。其中还包括1977年法国雷恩大学Lucas教授等人〔1〕发现的氟化锆系玻璃，（ ZrF_4 ）因为它从紫外光到红外光有很宽的透明区和良好的化学耐久性，所以集中地研究了将它作为低损耗超长距离通信用红外光纤材料的可能性。本文从低损耗光纤材料的角度，就氟化物玻璃最近搞清楚的各种物理特性与氧化物玻璃的物理特性作一比较。

2. 玻璃成分

氟化物玻璃可大致分为以下几种〔2〕。

2. 1 ZrF_4 和 HfF_4 系

它们是最初发现的，研究也最多。以 ZrF_4 — BaF_2 — ThF_4 系〔1〕为代表，有象 ZrF_4 — ThF_4 — LaF_3 〔3〕之类的多种系列。就连把 ZrF_4 替换成 HfF_4 系也已证明是玻璃〔4〕。从这些玻璃后来的发展中发现：掺3—5%的 AlF_3 ，作为在溶融

玻璃冷却时防止结晶的措施是有效的〔5〕。

2.2 AlF_3 系

探索玻璃化的系统研究〔6〕是从 AlF_3 — BaF_2 — CaF_2 系开始的。金森等〔7〕的氟铝系(AlF_3 — YF_3 — BaF_2 — CaF_2 系)和Poulain等〔8〕的 AlF_3 — YF_3 — BaF_2 — ThF_4 等系为稳定系。

2.3 过渡金属氟化物系

该系有 MtF_2 — MtF_3 — MF_3 系(Mt: 过渡金属)的氟化物玻璃, 是由Miranday等人〔9〕开始研究的。因为含有过渡金属, 所以作为光纤应用, 有玻璃着色的缺点, 在这些系中已经知道的有含 PbF_2 的 PbF_2 — MnF_2 — FeF_3 系〔10〕。

2.4 铈系和铀系

用 ThF_4 、 UF_4 组成的系在化学上与 ZrF_4 系相似, 认为可作成玻璃。虽有 ThF_4 — LnF_3 — BaF_2 系($\text{Ln} = \text{Y}$ 、 Yb 、 Tm)〔11〕和 $\text{U} \rightarrow \text{Th}$ 系, 但它们在高温下易氧化。

2.5 其它系

在最近发现的系当中, 有 ScF_3 — YF_3 — BaF_2 系〔12〕, GaF_3 — BaF_2 — ZnF_2 〔13〕和 InF_3 — YF_3 — BaF_2 系〔14〕。

最后, 将这些氟化物玻璃的标准组分列入表1。

3. 玻璃的稳定性

表1派生的全部氟化物玻璃组分不是都适合制作光纤。一般地说, 氟化物玻璃与氧化物玻璃相比, 是易结晶性的玻璃。若再从玻璃熔解到制成纤维的过程中产生微结晶, 会引起光纤的透射光的散射, 结果使透射光损耗增加。为了避免急剧结晶, 要改善成分, 尽量加大玻璃转化温度 T_g 与结晶温度 T_c 的差。另外, 为了不易引起结晶, 要扩大玻璃范围—多组分。在这之中应找出特别有效的成分。根据使成分稳定的研究, 我们知道在 ZrF_4 系玻璃中掺 AlF_3 〔5〕, 在

表1 氟化物玻璃的组分

	ZrF ₄	HfF ₄	TiF ₄	AlF ₃	ZnF ₂	MnF ₂	PbF ₂	Bor ₃	CaF ₂	CaF ₂	FeF ₃	ScF ₃	YF ₃	YbF ₃	LaF ₃	LiF	NaF
ZBT	57.5		8.7					33.8									
ZBT	60							34							6		
ZBNT	50		7.5					20									22.5
ZTL	50		43												7		
ZTS	50		43									7					
ZBNA	52			4				24									20
ZBL1A	52			4				26								18	
ZBYA	45			8				36					11				
ZBLA	57			4				34							5		
HBL		62						33							5		
HBLA		58		4				33							5		
HBT		58	9					33									
BATY			22.6	28.7				20					28.7				
YABO				40				20	20				20				
AZnBT			20	20	40			20									
ZnBT			40		40			20									
MBT			40			50		10									
ZnBTYb			28.3		28.3			15						28.3			
TBYb			40					40						20			
TBL1			30					10								60	
SYB								40				40	20				
OaZnB					20			40	40								
PFM						25	50				25						
PFZn					33		33				33						
PFN							25				45						30
FNO									25	45							30