

塑料光纤连接的智能家庭光纤通信系统

桂玉屏¹, 徐 震², 胡先志³

(1. 广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510006; 2. 安达网络(武汉)技术有限公司, 湖北 武汉 430072;
3. 武汉邮电科学研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要:文章分析了石英玻璃光纤应用于光纤到户时存在的问题,并介绍了一些发达国家塑料光纤、器件和系统的最新研究情况。氟化聚合物的梯度折射率分布的塑料光纤因为具有良好的性价比,所以在光纤到户中正在逐渐得到应用。现在,人们已经清楚,光纤到户的塑料光纤质量的优劣主要在于其衰减和色散等性能。文章最后列出了一些用塑料光纤连接的单信道、波分复用和智能家庭光纤通信系统的典型实例。
关键词:氟化聚合物;梯度折射率;塑料光纤;通信系统
中图分类号: TN818 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8788(2006)04-0044-03

Plastic-fiber-connected intelligent home fiber-optic communication systems

Gui Yuping¹, Xu Zhen², Hu Xianzhi³

(1. College of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;
2. ANDA Networks Wuhan, Inc., Wuhan 430072, China;
3. Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan 430074, China)

Abstract: The disadvantages of silica fibers used in FTTH are analyzed and the latest research results of plastic fibers, devices and systems in the developed countries introduced. As it has good cost-performance, the perfluorinated polymer graded index plastic fiber is finding applications in FTTH. Now, the properties, mainly attenuation and dispersion, of FTTH-used plastic fibers can be clearly discriminated. Finally, a number of typical examples of plastic-fiber-connected intelligent home single-channel WDM fiber-optic communication systems are given.
Key words: perfluorinated polymer; graded index; Plastic Optical Fiber (POF); communication system

随着综合宽带业务向用户终端的延伸,光纤到户(FTTH)的发展步伐大大加快。FTTH 的发展过程中需要解决的技术问题主要有:降低光纤、器件和系统本身的成本;积极寻找快捷的施工方法。

尽管石英玻璃光纤具有传输衰减小、工作波带宽等诸多优点,但是,它也存在制造工艺复杂且纤芯极小、接续困难等缺点。在 FTTH 的建设中,针对石英玻璃光纤所存在的价格高和施工接续时间长的问 题,日本、美国、德国等国家的著名大学和研究机构一直在积极从事对制造工艺简单、纤芯粗的塑料光纤(POF),价格便宜、易连接的光器件和与 POF 配套的通信系统的研究。

最近几年,POF 光器件和通信系统的研究已经取得了令人瞩目的成果,例如低衰减、高带宽的梯度折射率塑料光纤(Perfluorinated Polymer Graded-Index Plastic Optical Fiber, PF GI-POF)、便宜的光器件和可实用的通信系统已经由试验阶段逐渐进入商用。

本文综述了 2005 年第 17 届国际聚合物光纤会议文献所报道的光纤及其通信系统的最新研究成果,以供从事 FTTH 具体工作的读者参考。

1 光 纤

1.1 要 求

石英玻璃光纤制造工艺复杂、纤芯直径小的缺点导致了其价格高、接续困难,而 POF 的研究要点就是要想方设法制造出纤芯直径大、接续快捷的 POF。

自 1968 年美国 Dupont 公司开发出第 1 根聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethyl Methacrylate, PMMA)POF 至 2005 年第 1 根 PF GI-POF 进入商用经历了 38 年的研究历程。人们对 POF 的材料选择、制造工艺、性能测量、光器件开发和通信系统的构建等进行了全方位的研究。今天,人们对作为短距离光纤通信的光信号传输媒质 GI-POF 的性能要求集中体现在以下几方面:(1)设法降低衰减;(2)精确地控制折射率分布;(3)提高高温、高湿环境下的稳定性;(4)改善弯曲损耗。表 1 列出了对 POF 与石英玻璃光纤性能的比较,不难看出 POF 是 FTTH 建设中局域网应该优先选用的光信号传输媒质。

收稿日期:2006-03-23
作者简介:桂玉屏(1962-),女,湖北武汉人,工程师,学士,研究领域为光纤通信和电子信息等。

表 1 POF 与石英玻璃光纤性能的比较

项 目	塑料光纤	石英玻璃光纤
衰减	大—中等(短距离)	中—小(长距离)
带宽	大(11 Gbit/s,100 m)	极大(<i>n</i> Tbit/s)
工作波长范围	可见光	红外线
数值孔径	大(0.4 NA)	小(0.1~0.2 NA)
连接	连接容易,人员不需 训练或使用特殊工具	连接耗时,人员需要经 过训练和使用特殊工具
操作	简单	人员需要经过训 练和仔细操作
柔性	柔软	脆性
器件价格	便宜	比较贵
试验设备	便宜	昂贵
系统成本	整个系统成本低	整个系统成本高

1.2 材 料

为保证所制造的 GI-POF 具有小衰减和大带宽,应该选用吸收、散射、弯曲损耗和模间色散都很小的材料作为制造 POF 纤芯的基本材料。例如,以 PMMA 和 PF PMMA 为芯材制造 GI-POF。

表 2 给出了用这两种材料制成的 GI-POF 的性能。由表 2 可以看出,PF GI -POF 性能优于 PM-MA GI -POF,原因是前者的材料性能比后者的材料性能好得多。

表 2 两种 GI-POF 的性能比较

性 能	PMMA GI -POF	PF GI -POF
衰减	150 dB/km, 650 nm	15 dB/km, 1 310 nm
100 m 带 宽/GHz	2	10

1.3 制 造

众所周知,石英玻璃多模光纤的带宽是由其折射率分布形状决定,那么,我们必然会推测出 GI-POF 的带宽也应该与其折射率分布形状关系密切。

制造石英玻璃光纤采用气相沉积工艺有两个理由:其一是气相沉积工艺可以进一步提纯参加反应的原料;其二是利用气相沉积工艺可以通过计算机控制芯和包层的气相原料的流量来获得符合设计要求的精密折射率分布,以最终达到在光纤中形成的波导结构能够满足传输性能的要求。而 GI-POF 的制造采用的是界面凝胶聚合法、高速离心法和高温挤压法等不同工艺。这 3 种工艺的优缺点见表 3。

表 3 3 种工艺的优缺点

工艺方法	生产 过程	梯度折射率 形成机理	工艺特点
界面凝胶	间断	扩散聚合	产品性能好,但生产时间长
高速离心	间断	密度差聚合	产品性能好,但生产时间长
高温挤压	连续	扩散聚合	生产效率高、成本低, 产品性能差

人们研究发现,GI-POF 预制棒中形成的折射率分布形状对 GI-POF 的带宽大小起着十分重要的作用。只要 GI-POF 预制棒中形成的折射率呈现平方律分布,GI-POF 的带宽就可以达到最大。

现在,商用的 GI-POF 大多采用界面凝胶聚合法。这种制造方法具有先制棒后拉丝两个工艺步骤,即首先利用界面凝胶聚合方法制造出一根外径大约为 22 mm 的 GI-POF 光纤预制棒;然后将该预制棒放入一个温度为 220~230 ℃ 的拉丝炉内,拉制成芯径为 500 μm、外径为 750 μm 的 GI-POF。

1.4 性 能

1.4.1 衰 减

目前,商用的通信 GI-POF 是由 PMMA 或者 PF PMMA 制成的。通常,GI-POF 的衰减由吸收、散射和弯曲损耗共同作用所决定。要想制造出低衰减的 GI-POF,具体措施如下:(1) 用减小掺杂剂的浓度来降低散射损耗;(2) 提高 GI-POF 的数值孔径,增加导光能力,改善弯曲损耗。

减小 GI-POF 衰减的具体做法是:首先选择吸收损耗小的材料作为纤芯,其次是利用具有高折射率的高分子材料作为掺杂剂,使其掺杂浓度下降,从而减小光纤中的光散射;再次以高折射率的高分子材料作为掺杂剂来提高 GI-POF 的数值孔径,如用 5 wt% 联苯硫化物掺杂剂获得的 GI-POF 的数值孔径为 0.27,而采用 PMMA 包层的 GI-POF 的数值孔径仅为 0.21。一般,PF 包层 GI-POF 在 650 nm 波长的衰减系数为 130~160 dB/km。另外,可以通过减小包层的掺杂浓度,使 GI-POF 的弯曲损耗呈指数律减小。

根据 2005 年 9 月 20~22 日在香港召开的第 17 届国际聚合物光纤会议文献报道,下一代 PF GI-POF 的衰减可以达到 10 dB/km,弯曲半径为 5 mm 时的最小弯曲损耗可以达到 0.5 dB 的水平。

1.4.2 带 宽

由光波理论得知,限制多模光纤带宽的主要因素是模间色散。减小模间色散的惯用做法是力求在多模光纤径向形成一个平方律的折射率分布。为了定量分析 GI-POF 的折射率分布和带宽之间的关系,可以用指数律公式(1)来描述。GI-POF 纤芯的折射率分布式(1)既可以解释 GI-POF 的折射率分布形状,又可以解释优化折射率分布的 GI-POF 的最大带宽,

$$n(r)=\begin{cases}n_1\left[1-2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^g\right]^{\frac{1}{2}} & 0\leq r\leq a, \\ n_2 & r\geq a\end{cases}, \quad (1)$$

式中, g 为折射率指数的参数; n_1 和 n_2 分别是纤芯和包层的折射率; r 为离开纤芯中心的距离; a 是纤芯半径; Δ 为相对折射率差, $\Delta=(n_1^2-n_2^2)/(2n_1^2)$, 其数值由折射率分布的形状决定。

因为 GI-POF 的折射率分布直接影响到 GI-POF 的带宽大小, 所以, 精确地控制折射率分布形状和折射率指数 g 对 GI-POF 的带宽十分重要。为提高 GI-POF 的带宽, 在制造 GI-POF 时, 要想方设法降低模间色散、材料色散和折射率分布色散。提高 GI-POF 带宽的具体做法是通过调整预制棒芯区聚合反应速度来保证折射率指数 $g\approx 2.7$, 这样可以使 GI-POF 的最大带宽达到 10 Gbit/s 的水平。

2 通信系统

2.1 单信道通信系统

单信道通信系统试验的最新记录是在 PF GI-POF 上实现了 2.5 Gbit/s、550 m 的数据传输。数据传输试验中所用的 POF 是由日本旭玻璃株式会社提供的 PF GI-POF, 其在 1 310 nm 波长的衰减系数为 31 dB/km。

这个试验中所用的光源是工作波长为 1 310 nm 的商用通信激光器, 即 DFB 激光器。在接收机端, 采用 InGaAs APD 作为接收机。在接收机与 PF GI-POF 之间, 采用非常敏感的大有效面积(直径为 80 μ m)的 InGaAs APD 与 PF GI-POF 互连, 这样有利于减小连接的损耗。在发射机端, 采用对接耦合方法将从 DFB 激光器发出的光通过单模光纤尾纤注入大芯径 PF GI-POF。这种耦合方法的耦合损耗 < 0.1 dB。

试验用的激光器的平均输出功率是 0.4 dBm。在误码率为 10^{-9} 下, 2.5 Gbit/s 时的接收机灵敏度是 -28.4 dBm。在工作波长为 1 310 nm 处, 200 m 长的 PF GI-POF 的衰减系数是 16.3 dB/km。由于 PF GI-POF 的多模色散作用, 接收机灵敏度会降低 4.4 dBm。对于工作波长为 1 310 nm 的 DFB 激光器, 光源的调制光谱宽度 < 0.1 nm。

2.2 波分复用传输系统

有关文献报道, PF GI-POF 的工作波长范围是 650~1 300 nm, 故它也允许几个信道(如 645、840 和 1 300 nm)的波分复用数据传输。例如, 英国 Eindhoven 理工大学在 456 m 的 PF GI-POF 上成

功地进行了 3 $\times$ 2.5 Gbit/s 的波分复用数据传输试验。他们的具体做法是将 645、840 和 1 300 nm 的数据信号通过合波器合波后送入一根 PF GI-POF 进行传输, 经过 200 m 的传输后再用一个平面滤波器分波。测得的从 PF GI-POF 输入光电探测器 3 个波长的插入损耗 < 1.6 dB。测量的 3 个波长的串扰电平 < 30 dB。

在这个波分复用通信系统中, 使用 456 m (两段光纤的长度分别为 328 和 128 m) 长的 PF GI-POF 实现了两个波长 840 和 1 300 nm 的信道速率为 2.5 Gbit/s 的波分复用数据传输。

2.3 智能家庭通信系统

在智能家庭通信系统中, PF GI-POF 是一种理想的传输介质, 它具有纤芯直径大、易于接续、柔韧性好、耐弯曲且价格便宜等优点, 故它可以实现数 GHz 的 300 m 带宽传输。因此, 在 FTTH 全光网络的室内布线中, PF GI-POF 具有广阔的应用前景。

由日本、美国和德国等发达国家的 FTTH 工程验证, PF GI-POF 可构建家庭智能通信系统, 即通过 PF GI-POF 进行家用 PC、HDTV、电话、数字成像设备、家庭安全设备、空调、冰箱、音响系统和厨用电器等的联网, 从而达到家庭电器的全自动远程控制, 以进一步提高人们的生活质量。

通过 PF GI-POF 还可实现办公设备的联网, 如计算机联网可以实现计算机并行处理, 办公设备间数据的高速传输可大大提高工作效率, 实现远程办公等。图 1 是 PF GI-POF 应用于智能家庭通信系统的一个典型实例的示意图。

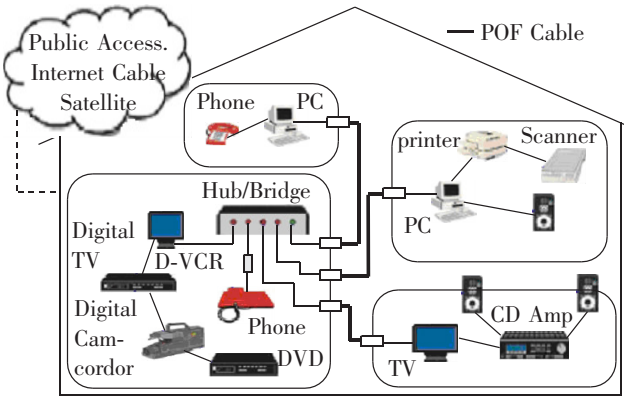


图 1 PF GI-POF 连接的智能家庭通信系统

3 结 论

由上述的 PFGI-POF 组成的光纤通信系统的具

(下转第 59 页)