

第八届全国塑料光纤与聚合物光子学

# 会议论文集

2012年11月1日-2日  
中国·成都

第八届全国塑料光纤、聚合物光子学会议

# 论文集

中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会

主办

塑料光纤制备与应用国家地方联合工程实验室

四川汇源塑料光纤有限公司

电子科技大学

联合承办

2012年10月31日-11月5日·成都



## 第八届全国塑料光纤、聚合物光子学会议组织机构

会议主席 张大明 教授 吉林大学

会议共主席 刘德森 教授 纤维光学与集成光学专业委员会主任、西南大学

会议名誉主席 李乐民 院士 电子科技大学

于荣金 教授 燕山大学

刘中一 董事长 四川汇源塑料光纤有限公司

### 会议学术委员会

主任： 明 海（中国科技大学）

副主任： 廖进昆（电子科技大学）

赵明山（大连理工大学）

储九荣（四川汇源塑料光纤有限公司）

刘新厚（中科院理化技术研究所）

王丽莉（中科院西安光机所）

张其锦（中国科学技术大学）

甘 露（工信部有线通信产品质量监督检验中心）

杨建义（浙江大学）

江晓清（浙江大学）

李宝军（中山大学）

吴文军（东莞市华鹰电子有限公司）

张在宣（中国计量学院）

委员： 马春生（吉林大学）

孙小菡（东南大学）

王廷云（上海大学）

章献民（浙江大学）

曹庄琪（上海交通大学）

钟力生（西安交通大学）  
张 宁（北京石油化工学院）  
郑志强（福建师范大学）  
周 骏（宁波大学）  
余木火（东华大学）  
朱 冰（中国科学技术大学）  
江 源（南京玻璃纤维研究设计院）  
王学忠（中科院西安光机所）  
张 彤（东南大学）  
陈 明（江西大圣光电技术有限公司）  
方 胜（内蒙古金三角光纤科技有限公司）  
缪立山（西安飞讯光电有限公司）  
金小平（江苏金印福涛光电有限公司）  
王亚辉（深圳中技源科技有限公司）  
王自和（东莞一普实业有限公司）

#### 会议组织委员会

主 任： 田宝成（四川汇源塑料光纤有限公司）  
副主任： 明 海（中国科学技术大学）  
          吴祥君（四川汇源塑料光纤有限公司）  
          唐雄贵（电子科技大学）  
秘书组： 宋昌林、李 凯、张海龙  
会务组： 吴 萍、邓德华、唐 波

## 目 录

## 聚合物光子学与技术研究新进展

明海 ..... 1

## The Long-term Stability Measurement of Polymer Planar Lightwave Electro-optic Devices

Daming Zhang Yuefei Yan Changming Chen ..... 2

## 耐热阻燃塑料光纤光缆的研制

李凯 张海龙 张用志 吴祥君 储九荣 ..... 8

## POF 在传感技术中的应用

严 跃 ..... 15

## 微结构塑料光纤及其通信领域应用趋势

王学忠 庞方亮 于荣金 方胜 邢浩晖 ..... 23

## 塑料闪烁光纤在粒子物理实验中的应用

汪晓莲 许咨宗 ..... 30

## 塑料光纤微型谱损测试仪

崔哲 马千里 明海 王安廷 许立新 ..... 31

## 光纤墙面交换机在局域网中的应用

宋昌林 唐波 郑鹏 ..... 34

## 用于高压变频器的塑料光纤模块的设计

宋昌林 唐波 郑鹏 ..... 39

## 色条塑料光纤光缆的开发和应用

张海龙 张用志 吴祥君 李凯 储九荣 刘中一 ..... 44

## 塑料光纤家庭网络设备应用及研制

王亚辉 谢晓军 ..... 50

## 微结构聚合物中红外光纤新技术初步探索

王光珍 姬江军 孔德鹏 马天 储九荣 陈琦 何晓阳 王丽莉..... 68

## 微结构聚合物光纤规模化制造与应用技术研究进展

王丽莉 孔德鹏..... 77

## 塑料光纤在“三网融合”中的应用

吴琦..... 87

## 用于太赫兹波传输的新一代微结构聚合物光纤的设计

王豆豆 孔德鹏 储九荣 陈琦 何晓阳 王丽莉..... 92

**Polymer Waveguide based Optical Coherent Receiver for Advanced Modulation Format**

Jin Wang (王瑾) Zhongcheng Liang (梁忠诚)..... 107

## 基于垂直耦合的聚合物三维集成光学器件

陈开鑫 朱柏廉 郑建成 陈惠平..... 113

基于  $\text{LiYF}_4:\text{Er}$ ,  $\text{Yb}$  纳米晶的聚合物光波导放大器

陈曦, 李然, 丛隆元, 衣云骥, 陈长鸣, 孙小强, 王菲, 张大明..... 125

## 基于铟镓共掺可溶性配合物平面光波导放大器

丛隆元 赵世民 陈曦 张琨 陈长鸣 孙小强 郑传涛 王菲 张大明..... 130

## 一种新型 650nm 阵列波导光栅波分复用器的研制

韩超 牛小艳 王雷 陈长鸣 张大明..... 135

## 基于纳米压印技术的全聚合物光波导器件

李然 陈曦 衣云骥 孙小强 陈长鸣 郑传涛 王菲 张大明..... 140

## 基于聚合物/二氧化硅混合波导的 650 nm 波长热光开关研究

孟杰 张美玲 谢莹 王希斌 孙健 闫云飞 陈长鸣 郭文滨 张大明..... 144

## 新型全聚合物结构光波导放大器的研制

牛小艳 韩超 丛隆元 陈长鸣 孙小强 王菲 张大明.....	149
基于 SU-8 材料的无源-有源集成式电光波导设计与制备	
王希斌 孙健 岳远斌 陈长鸣 郭文滨 张大明.....	153
平面波导光隔离器的分析与设计	
许少柯 吕彤韵 肖诗萌 赵超 张大明 .....	159
Nd(TTA) <sub>3</sub> (TPPO) <sub>2</sub> 掺杂 SU-8 光特性与波导制备	
汪建斌 张以亮 黄晓亮 张丹 .....	162
基于热效应的可调聚合物微透镜的模拟与分析	
童 伟 唐雄贵 廖进昆 李和平 李健儒 .....	169
基于有机聚合物的双电极 Y 分支定向耦合电光调制器的研究	
杨晓军 廖进昆 唐雄贵 李和平 刑飞 段毅.....	176

## 聚合物光子学与技术研究新进展

明海

(中国科学技术大学光子技术研究所, 安徽 合肥 230026)

聚合物光子学是高分子材料和光子学相结合形成的一门新兴的交叉学科, 并已成为光子学的研究热点之一。它涉及到光的产生、传输、控制、转换、存储、显示等, 并由此形成了诸多相关的聚合物光子技术。它在信息与通讯、照明与显示、生命科学与健康、以及安全与环境等领域具有重要的应用前景。

该文结合我们实验室最近研究工作着重介绍: 聚合物光纤在短距离信息传输及测试技术、聚合物光纤传感、聚合物微结构加工与制作、聚合物光纤与透镜在显示中应用和聚合物表面等离子体亚波长光学。

首先介绍2012年第21届塑料光纤国际会议简况, 按着结合实验室讨论聚合物光纤在短距离信息传输中, 特别是在千兆网, 以及汽车和工控中的应用; 着重推出塑料光纤微型谱损测试仪、塑料光纤跳线测试仪、以及开发塑料光纤基频带测量系统。聚合物光纤传感方面充分利用聚合物光纤大数值孔径、粗芯径、柔性好、灵敏度高、以及与生物组织的兼容性的优点展开, 突出其在生命科学与健康, 以及安全与环境等领域的应用。聚合物微结构加工与光刻方面, 介绍了均匀辐照365nm LED光源设计及其在光刻中的应用, 新型光刻介质偶氮苯聚合物薄膜光学特性及其光刻研究, 以及表面等离子体超分辨和导模干涉光刻。这里利用聚合物微结构和透镜阵列提取深度信息和实现三维显示, 聚合物光纤在激光显示中可用于消散斑技术。

近年来我们将聚合物光子学和表面等离子体(SPs)亚波长光学结合起来, 基于聚合物材料构筑的SPs微纳器件: 包括介质负载SPs单模波导传输损耗补偿, 基于聚合物材料的SPs分束器、弯曲波导、SPs的波分复用器件; SPs环形共振、Bragg光栅滤波器和反射器; 基于不同形状聚合物结构实现SPPs波的聚焦、发散、折射、透射、全内反射等; 通过与低阶Plasmonic Bloch wave的耦合, 调控荧光方向出射方向。另外研究了金属颗粒的表面等离子共振效应对聚合物材料光学性质的改变, 如: 增强聚合物波导放大器的放大效率, 增强偶氮聚合物的光致取向速度、非线性响应, 利用异构化后的偶氮聚合物薄膜来主动调控表面等离子体波, 纳米金属结构有机复合体系进行荧光的增强和表面拉曼增强散射等研究。



# The Long-term Stability Measurement of Polymer Planar Lightwave Electro-optic Devices

Daming Zhang\*, Yuefei Yan, Changming Chen

State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, College of Electronic Science and Engineering,  
Jilin University, Changchun, 130012, China

**ABSTRACT:** An asymmetric Y-branch Mach-Zehnder interferometer electro-optic switch with microstrip line electrode is designed and fabricated. Through using two pairs of asymmetrical Y-branch waveguides as the splitter and coupler, respectively, a phase difference between the two MZI arms, and then the bias-free function can be realized. The switching time is measured to be ~100 ns. The reliability performance of the device is analyzed and measured, too.

**Keywords:** Planar Optical Waveguide, Polymer Photonics, Electro-optic Switch

## 1. INTRODUCTION

High-speed electro-optic (EO) switches have important applications in the time-division multiplexing (TDM) systems, wavelength-division multiplexing (WDM) systems, and other related systems [1, 2]. The second order optical nonlinear organic materials are widely adopted to the fabrication of EO modulators and switches due to their high EO coefficient and low dielectric constant. The polymer EO modulators exhibit excellent performance of low half-wave voltage [3-5] and large bandwidth [6]. Though some EO polymers, such as AJLS102 [3], CLD-1/PMMA [7] and AJL8/APC [8], have extremely high EO coefficient more than 55 pm/V, they are not broadly available yet as fully commercial polymer products. On the contrary, the EO materials based on Disperse Red 1 (DR1) chromophore can be simply synthesized and commercially available, and the devices utilizing guest-host DR1/PMMA and side-chain DR1-PMMA with favorable performance were widely reported [9, 10].

In this paper, an asymmetric Y-branch Mach-Zehnder interferometer (MZI) EO switch with microstrip line (MSL) electrode is designed and fabricated. Through using two pairs of asymmetrical Y-branch waveguides as splitter and coupler, respectively, the bias-free function is realized with a phase difference

---

\* zhangdm@jlu.edu.cn; phone +86 431 85168097; fax +86 431 85168097

between the two MZI arms. The reliability performance of the switch is tested and analyzed experimentally.

## 2. EXPERIMENTAL

### Polymer material

The EO polymer material is synthesized by physical doping 3wt% DR1 in SU-8 thinner and SU-8 (commercially from MicroChem) mixture. The host SU-8 is also adopted as the upper and lower cladding materials, due to its high optical transparency, good chemical and thermal stability.

### Waveguide scheme design

A Mach-Zehnder interferometer waveguide structure is designed to realize switching function. Different from the traditional symmetrical Y-branches, two asymmetrical Y-branches are adopted as splitter and coupler, which could induce a phase difference of  $p/2$  between the two MZI arms and realize the bias-free function, as shown in Figure 1. In the simulation,  $X_1$  and  $L$  are set to be  $20\ \mu\text{m}$  and  $1000\ \mu\text{m}$ , respectively. The thickness and width of the EO core of the buried strip waveguide are  $3\ \mu\text{m}$ , the thickness of the upper and lower cladding is  $5\ \mu\text{m}$ . The refractive indices of the DR1/SU-8 core and SU-8 cladding are 1.596 and 1.573, respectively. We find that the switch can realize 3-dB state and bias-free function, when  $X_2 = 24\ \mu\text{m}$ .

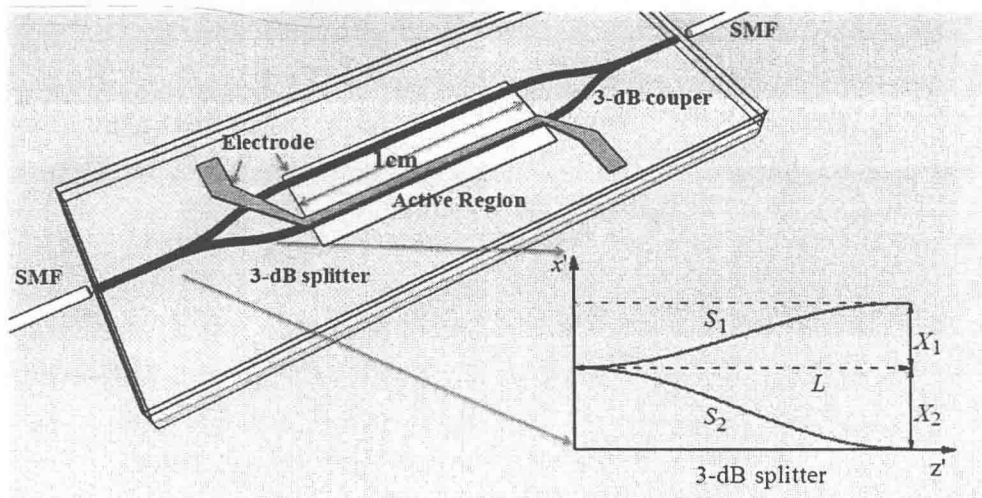


Figure 1. Schematic diagram of the polymer MZI EO switch.

## Device fabrication

The polymer switch fabricated by traditional semiconductor technology is shown in Figure 2 as follows: (a) a 2.5- $\mu\text{m}$ -thick silica layer was grown on the silicon substrate by thermal oxide method; (b) 500-nm-thick aluminum layer was deposited on the silica layer by thermal evaporation and patterned with wet-etching technique as the bottom electrode; (c) a SU-8 layer with thickness of 5  $\mu\text{m}$  was spin-coated, cured by UV exposure and hard bake to be as the bottom cladding; (d) another 3  $\mu\text{m}$  SU-8 layer was spin-coated and exposed to the UV light through a chromium mask. And then the sample is developed for 1 min to form the waveguide channels; (e) the EO polymer material of DR1/SU-8 is spin-coated to fill in the channels; (f) Inductively coupled plasma etching (ICP) with 40 sccm O<sub>2</sub> and 4 sccm CF<sub>4</sub> was adopted to remove the slab on the top of the channels; (g) a 5  $\mu\text{m}$  SU-8 film was spin-coated and cured on the EO core as the top cladding; (h) the 500 nm aluminum electrode was deposited on the top cladding by thermal evaporation and patterned by conventional photolithography and wet etching.

The chromophore alignment of the final fabricated EO switch is achieved by using contact poling method. After the device is heated to be 215 °C in N<sub>2</sub> atmosphere, a ~900 V DC poling voltage was applied between the top and bottom electrodes for approximate 30 min, and then the switch was cooled down to the room temperature while keeping the poling voltage.

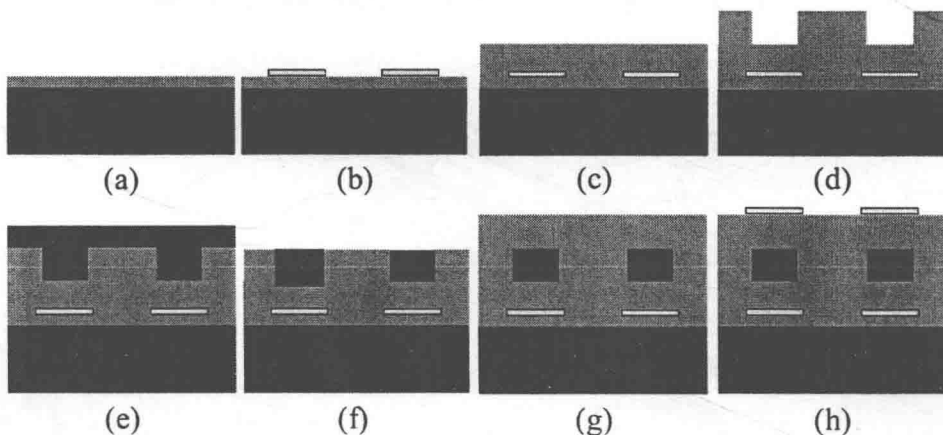


Figure 2. The fabrication process of polymer AMZI EO switch

## Device characterization and test

To evaluate the performance of the switch, a light power of 1 mW ( $\lambda=1550$  nm) output from the single mode fiber is coupled input into the switch. The insertion loss is measured to be less than 10.8 dB, which

includes the coupling loss, transmission loss and excess loss. 1 MHz square wave signal was used to drive the switch, dynamic performance of the switch was expressed by the rise and fall times of 99 and 101 ns, as shown in Figure. 3.

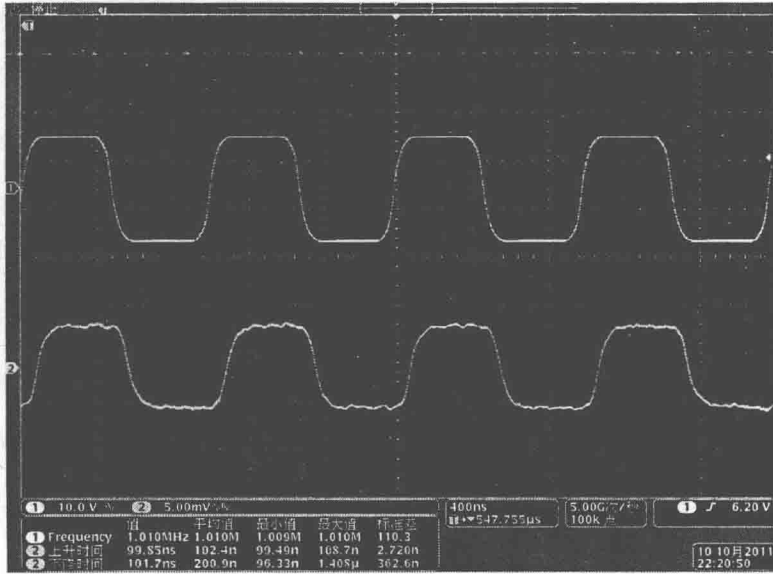


Figure 3. Switching characteristic of the device

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

To study the long-term stability of the EO device, the relative measurements have been performed with constant driving voltage and bias-free structure, which can ensure the switch operating at the same bias state in the whole process. The switching function invalidation is mainly resulted from the poling effect degradation, which represents as the decay of  $\gamma_{33}$ . According to Kohlraush equation, the decay of half wavelength voltage  $V_{\pi}$  can be obtained

$$\frac{V_{\pi}(t)}{V_{\pi}(0)} = \exp(t/\tau)^b \quad (1)$$

Where  $t$  is the time,  $\tau$  is the characteristic relaxation time constant of the EO material. The referential output power of the MZI switch is

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \left[ 1 + \sin\left(\frac{\pi V_m}{V_{\pi}}\right) \right] / 2 \quad (2)$$

Where  $V_m$  is the driving signal voltage, and  $A = \pi V_m / V_{\pi}$  is the amplitude of the over-driving signal. Then, the decay of amplitude can be expressed as

$$\frac{A(t)}{A(0)} = \exp\left[-(t/\tau)^b\right] \quad (3)$$

the decay value of the amplitude within thousand minutes have been measured and recorded in Figure 4. Through the exponential fitting method, the characteristic relaxation time constant of DR1/SU-8 is verified to be 225.6 min.

#### 4. CONCLUSIONS

An asymmetric Y-branch EO switch based on MZI structure is designed and fabricated. Utilizing asymmetric Y-branch splitter and coupler, the bias point can be adjusted to 3-dB operation point, which enables the switch operating without DC bias. The switch time, including rise time and fall time, are about 100 ns. The device reliability is characterized by the output amplitude decay of the switch. The characteristic relaxation time constant of DR1/SU-8 EO polymer is measured to be 225.6 min.

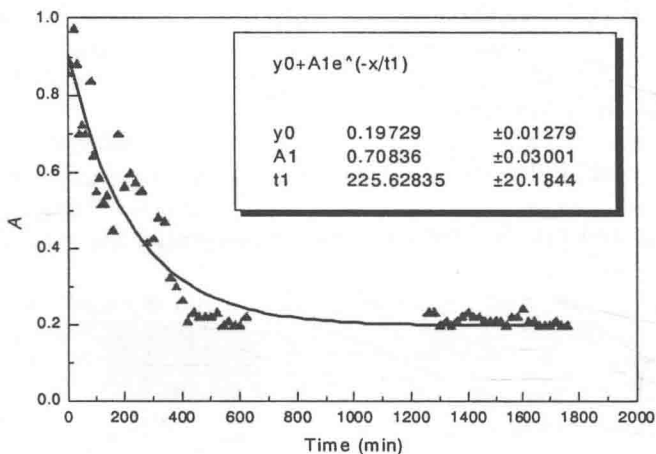


Figure 4. The amplitude decay of the device

**Acknowledgments:** The authors wish to express their gratitude to the National-Natural Science-Foundation of China (No. 61077041, 61107021 and 61177027) and the Science and Technology Development Plan of Jilin Province (No.20110315).

#### REFERENCES

- [1] Lee, M. H., Ju, J. J., Park, S., Do, J. Y., and Park, S. K., "Polymer-Based Devices for Optical Communications", ETRI Journal 24 (4), 259-269(2002).

- [2] DeRose, C. T., Mathine, D., Enami, Y., Norwood, R. A., Luo, J., Jen, A. K. Y., and Peyghambarian, N., "Electrooptic polymer modulator with single-mode to multimode waveguide transitions", *IEEE Photonics Technology Letters* 20 (12),1051-1053(2008).
- [3] Chen, A., Chuyanov, V., Zhang, H., Garner, S., Lee, S-S., Steier, W. H., Chen, J., Wang, F., Zhu, J., He, M., Ra, Y., Mao, S. S. H., Harper, A. W., Dalton, L. R., and Fetterman, H. R., "DC biased electro-optic polymer waveguide modulators with low half-wave voltage and high thermal stability", *Optical Engineering* 38 (12), 2000-2006(1999).
- [4] Shi, Y., Zhang, C., Zhang, H., Bechtel, J. H., Dalton, L. R., Robinson, B. H., and Steier, W. H., "Low (Sub-1-Volt) Halfwave Voltage Polymeric Electro-optic Modulators Achieved by Controlling Chromophore Shape", *Science* 288,119-122(2000).
- [5] Enami, Y., Mathine, D., DeRose, C. T., Norwood, R. A., Luo, J., Jen, A. K. Y., and Peyghambarian, N., "Hybrid cross-linkable polymer/sol-gel waveguide modulators with 0.65 V half wave voltage at 1550 nm", *Applied Physics Letters* 91, 093505(2007).
- [6] Chen, D., Fetterman, H. R., Chen, A., Steier, W. H., Dalton, L., Wang, W., and Shi, Y., "Demonstration of 110 GHz electro-optic polymer modulators", *Applied Physics Letters* 70 (25), 3335-3337(1997).
- [7] Shi, Y., Lin, W., Olson, D. J., Bechtel, J. H., Zhang, H., Steier, W. H., Zhang, C., and Dalton, L. R., "Electro-optic polymer modulators with 0.8 V half-wave voltage", *Applied Physics Letters* 77 (1),6951-6953, (2000).
- [8] Enami, Y., Derose, C. T., Mathine, D., Loychik, C., Greenlee, C., Norwood, R. A., Kim, T. D., Luo, J., Tian, Y., Jen, A. K. Y., and Peyghambarian, N., "Hybrid polymer/sol-gel waveguide modulators with exceptionally large electro-optic coefficients", *Nature Photonics* 1,180-185(2007).
- [9] Lee, M., Katz, H. E., Erben, C., Gill, D. M., Gopalan, P., Heber, J. D., and McGee, D. J., "Broadband modulation of light by using an electro-optic polymer,. *Science* 298 (15),1401-1403(2002).
- [10] Michel, S., Zyss, J., Ledoux-Rak, I., and Nguyen, C. T., "High-performance electro-optic modulators realized with a commercial side-chain DR1-PMMA electro-optic copolymer", *Proceedings of SPIE* 7599, 759901(2010).

## 耐热阻燃塑料光纤光缆的研制

李凯\*, 张海龙, 张用志, 吴祥君, 储九荣

(四川汇源塑料光纤有限公司)

(塑料光纤制备与应用国家地方联合工程实验室)

**摘要:** 介绍了耐热阻燃塑料光纤光缆的应用领域, 以及本公司研制尼龙护套耐热阻燃光缆的工艺方法与产品性能。

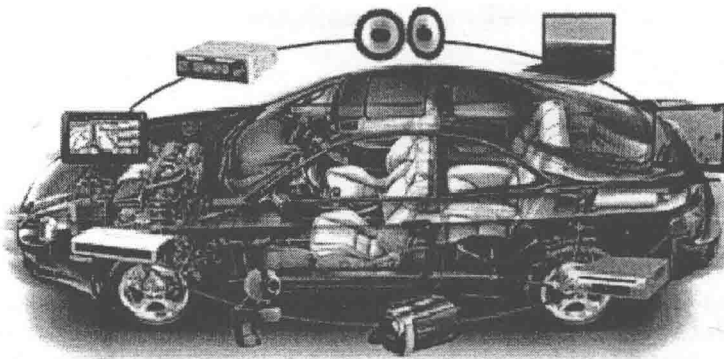
**关键词:** 耐热; 阻燃; 塑料光纤; 光缆; POF

### 一、市场背景

近年来, 塑料光纤已广泛应用于信息传输、电力、工业传感及工控、汽车等信息传输领域。

市场研究公司 Information Gatekeepers Inc. (简称 IGI) 在其 2011 年版塑料光纤市场及技术评估报告中声称, 塑料光纤 (POF) 的数据业务正在经历“超常增长”, 到 2015 年塑料光纤市场将达 47.42 亿美元, 而 2010 年该市场为 25.64 亿美元。这主要受益于欧洲汽车制造商和新技术发展的推动。

随着车载网络的发展, 现代汽车的车载电子控制单元 (ECU) 对网络传输带宽有了更高的要求, 从而催生了以 POF 为传输介质的车载网络系统。应用塑料光纤作为汽车网络的传输介质, 不仅可以提供高的传输带宽, 还可以减轻汽车的重量及防止电磁干扰, 从而给人更安全、舒适的乘车环境。



POF 车载网络发展到今天, 共产生了大约五种网络标准, 分别是多媒体系统标准 D2B、MOST、IDB-1394, 安全系统标准 Byteflight 和 Flexray。应用了多媒体系统标准, 可满足车载多媒体系统对传输带宽的高要求, 从而满足人们对车载娱乐的各种需求;

应用了安全系统标准, 可实现汽车安全系统更准备的智能控制, 从而提高汽车的安全性。现在 POF 主要是应用于各种高端车型, 不过随着汽车电子产业发展和人们对汽车舒适度及安全性的要求越来越

\*作者简介: 李凯, 男, 1976 年生于四川成都, 1999 年毕业于四川大学高分子材料工程系, 学士, 工程师, 从事光纤通信、材料本体聚合、塑料光纤生产工艺研究十余年, 现就职于四川汇源塑料光纤有限公司, 任研发部主任, 兼低损耗塑料光纤研究室主任。

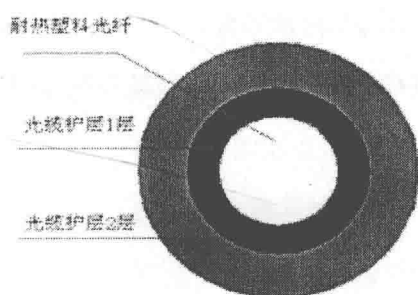
越高,今后 POF 必将广泛应用于各种车型。

## 二、技术背景

根据行业标准 YD/T1447-2006 《通信用塑料光纤》和 YD/T1258.6-2006 《室内光缆系列 第 6 部分:塑料光缆》中规定,塑料光纤的温度使用范围为 $-20\sim+70^{\circ}\text{C}$ ,目前市场中广泛使用的塑料光纤正是这个级别。

随着塑料光纤在汽车领域和其它特殊行业领域中的应用,对塑料光纤及其光缆的耐温等级有了更高要求,温度使用范围提高到 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ 。正由于此,我公司进行了耐热阻燃塑料光纤光缆的研制。

## 三、耐热阻燃塑料光纤光缆的工艺研制



耐热阻燃塑料光纤光缆的研制,包括塑料光纤的耐热改性和护套材料的耐热改性两部分。首先对塑料光纤进行耐热改性,但不影响其光学性能,再在塑料光纤外紧护套双层保护层,阻碍氧气在芯包层材料中传输,防止芯包层材料在高温下氧化,并在一定程度上阻碍塑料光纤变形。

图 1 耐热阻燃塑料光纤光缆结构图

为了提高护套的耐温性能、阻燃性能、机械性能,采用了阻燃尼龙 12 作为护套材料,结构图如图 1。

### 1、耐热塑料光纤的工艺研制

耐热塑料光纤的工艺采用连续本体预聚共挤法一步成型生产光纤,原料组分经过精馏、精滤后混合配料,在配方中加入耐热改性剂,与主单体甲基丙烯酸甲酯 MMA 进行共聚改性,送入聚合釜中,连续预聚到足够的转化率,送入到反应式挤出机中继续完成反应与脱单,经过脱挥的 PMMA 物料与同样方法聚合造粒的包层氟树脂在共挤模具中形成具有包层和芯层同心圆截面的塑料光纤。脱出的单体经过再次精馏后可继续使用。工艺流程图见图 2。



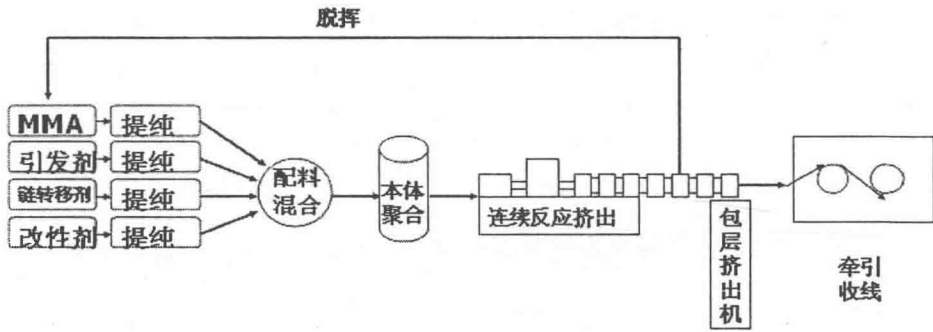


图2 耐热塑料光纤工艺流程图

聚合物的耐热改性通常的方法为：

1) 在分子主链上引入大体积刚性侧链或在主链上引入环状结构，使主链变得僵硬，刚性增大，对链段运动有较大抑止作用，从而提高耐热性。如采用共聚方法在侧链引入大体积侧基，常用第二单体有甲基丙烯酸多环降冰片烯酯、甲基丙烯酸环己酯、甲基丙烯酸双环戊烯酯、甲基丙烯酸金刚烷酯等。又如采用共聚方法使 MMA 与环状结构单体共聚，常用的有马来酸酐、N-取代马来酰亚胺等，还有使 MMA 在聚合物主链生成六元环酸酐结构，如图 3 结构：

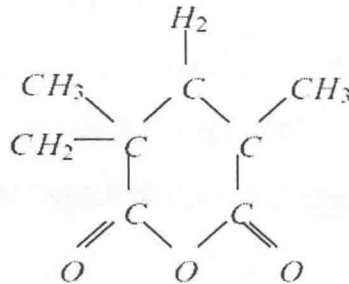


图3 环状结构

2) 加入交联剂，使线性结构变为体形结构，从而提高耐热性。比如加入甲基丙烯酸丙烯酸酯、乙二酸二丙烯酸酯、丁二酸二丙烯酸酯、己二酸二丙烯酸酯、二乙烯基醚、双烯 A 等。

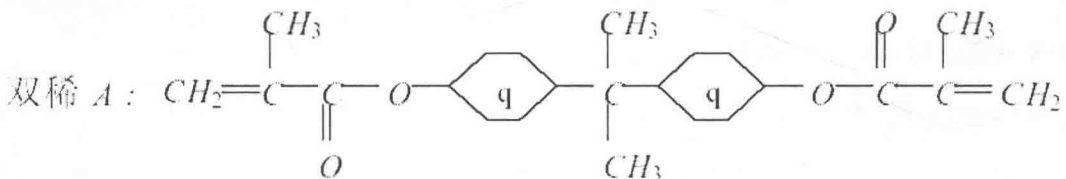


图4 双烯 A 结构

MMA-MAA-双烯 A 共聚物性能