

# 光电印制电路板的发展评述(2) ——光电印制电路板用光波导材料(下)

张家亮

(南美覆铜板厂有限公司, 广东 佛山 528231)

中图分类号: TN41 文献标识码: A 文章编号: 1009-0096(2007)01-0008-05

## Review of Progress in Optical-electronic Circuit Boards (2) —— Optical Waveguide Materials for EOCB (Part 1)

Zhang Jialiang

### 4 主要光波导线路用聚合物材料

当前研究的光通信波段聚合物光波导材料用的主要是低传输损耗聚合物, 如聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)及其衍生出来的氟化物和氘化物、环氧树脂、含氟聚芳醚和聚芳硫醚、耐高温的氟代聚酰亚胺、苯并环丁烯(BCB)、聚硅氧烷、聚硅烷、聚碳酸酯等, 笔者将商品化光波导材料的性能参数归纳在表3, 下面介绍几种主要的光波导线路用聚合物材料。

#### 4.1 聚甲基丙烯酸甲酯及其氟化物和氘化物

聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)由于较好的溶解性和稳定性, 已经被使用作为波导器件的芯层材料。特别是氟化和氟化的PMMA基材料, 在通信波长段已经被广泛的发展(氟化与氘化丙烯酸酯单体的结构见图7)。据报道, 全氘化d-PMMA在1.3μm波长处, 传输损耗小于0.1dB/cm, 而且其它

物理性质与普通PMMA相同, 具有较低的双折射和简单的加工工艺等优点。但是, d-PMMA在1.55μm处的光损耗大于1.5dB/cm。这是由于氘化聚合物C-D键二次伸缩振动吸收峰虽然在2.2μm附近, 但三次伸缩吸收峰却在1.55μm附近, 从而造成了一定的光损耗。含氟PMMA在1.55μm波长处吸收衰减大幅度降低。德国的Th.Knoche等合成了TFPMA(甲基丙烯酸三氟甲酯)和TeCEA(甲基丙烯酸四氟乙酯)共聚物, 这种共聚物在1.3μm

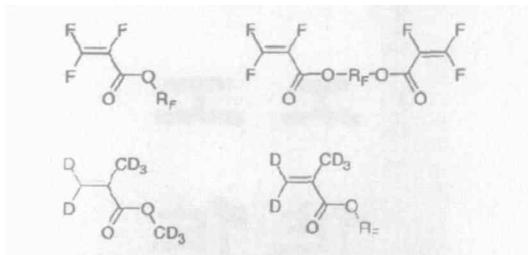


图7 氟化与氘化丙烯酸酯单体的结构

\* 本课题受江苏省科技厅科技发展计划资助, 项目编号为BG2005011。

表3 商品化光波导材料的性能参数一览表

聚合物	商品名	制造公司	折射率 ~550nm	光损失dB/cm		CTE (10 <sup>-6</sup> /K)	Tg
				@840nm	@1300nm		
卤代 丙烯酸酯	ZPU12-R1	Zen Photonbics	1.45~1.47	—	—	200~300	—
丙烯酸酯	Truemode <sup>TM</sup>	TerahertzPhotonics	1.45~1.58	<0.04	<0.4	60	150
丙烯酸酯	GuideLink <sup>TM</sup>	Optical CrossLinks	1.48~1.51	0.18	0.20	25~35	—
苯并环丁烯	Cyclotene <sup>TM</sup>	Dow Chemicals	1.50~1.55	0.80	0.80	52	350
苯并环丁烯	ZP1000M	Zen Photonbics	1.50~1.55	—	—	79~90	189~236
混杂材料	ORMOCER <sup>TM</sup>	Fraunhofer-Gesellschaft	1.52~1.56	0.20	0.26	50~250	—
环氧树脂	SU-8 <sup>TM</sup>	MicroChem	1.67	0.20	—	47~57	200
聚碳酸酯	Bayer	Makrofol	1.58	—	—	—	—
聚醚醚酮	Amoco	Kadel	—	—	—	19	—
聚醚酰亚胺	Ultem <sup>TM</sup>	GEPlastic	1.59	—	—	—	—
聚酰亚胺	Pyralin <sup>®</sup>	DuPont	1.7	—	—	16~60	300
聚酰亚胺	HD 4010	DuPont Hitachi Chemicals	1.7	—	—	35	350
聚酰亚胺	PIMEL[R]1-8100s	Asahi Chemicals	1.7	—	—	50	—
聚酰亚胺	1-700s	Asahi Chemicals	1.7	—	—	55~60	—

波长处的传输损耗为 0.1dB/cm, 1.55μm 处小于 0.3dB/cm。通过改变 TFPMA 与 TeCEA 的比例, 共聚物的折射率可以在 1.448~1.519 范围内来调节, 但是它的 Tg 只有 86 左右, 所以使用这种材料制作的光波导器件对加工温度和使用温度都很挑剔<sup>[15]</sup>。

#### 4.2 环氧树脂

感光性环氧树脂作为光电线路板的内芯材料具有传输损失低、成本较低、易于产业化的优点, 在日本主要有 NTT、Hitachi Cable、Fuji Xerox、Nitto Denko 等公司 (见表 1)。

Fraunhofer 研究所采用环氧波导, 使用加热模压法 (Hot Embossing) 制作的波导层见图 8, 首先

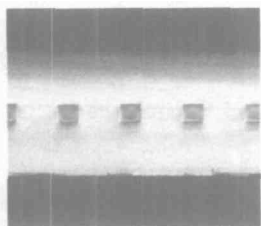


图 8 加热模压法制作的波导层

用 UV- 固化环氧做芯材, 用 COC- 箔做基板和覆盖层, 其光损失为 0.1~0.3 dB/cm @ 850nm, 热稳定性为 125 (长期耐热) 和 300 (短期耐热)。采用平版影印法 (Photolithography) 制作的波导层见图 9, 以 UV- 固化环氧为芯层和覆盖层, 以 FR-4 作基板, 其光损失为 0.25~0.6dB/cm @850nm, 热稳定性为 200 (长期耐热) 和 380 (短期耐热),

关于光电印制电路板的制造方法将在后面的连载中阐述。图 10 为 SU-8 薄膜不同波长下的折射率。

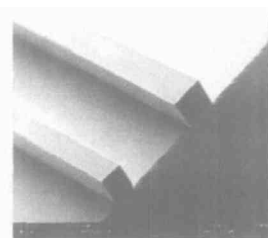


图 9 平版影印法制作的波导层

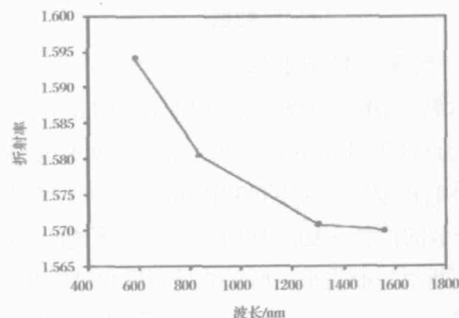


图 10 SU-8 薄膜不同波长下的折射率

#### 4.3 含氟聚芳醚和聚芳硫醚

含氟聚芳醚是作为低介电常数材料发展起来的。因为它具有良好的热稳定性和机械性能、低的吸湿率和在近红外区域很高的光透射率, 而成为优良的光波导材料。FLARE<sup>TM</sup> 是一系列以十氟联苯为单体的含氟聚苯醚。由于分子中氟的含量很大, 而形成很高的红外透射率。据报道, 韩国电子及通信研究所的 Lee Hyung-Jong 等通过引入封端单体, 合

成出交联的聚芳醚，其在 1.55 $\mu\text{m}$  处的传输光损耗小于 0.2dB/cm，双折射仅为 0.007，热分解温度可达 510（ $\text{N}_2$  保护下）。1.55 $\mu\text{m}$  波长处的折射率，通过改变分子量可以在 1.495~1.530 范围内调节。从报道看它比含氟 PI 性能优异，是极具价值的材料<sup>[16]</sup>。

韩国光州科技学院的 Jang-Joo Kim 等合成了一系列可交联的含氟聚芳硫醚 [Fluorinated Poly(Arylene Ether Sulfide), FPAESI]，这类材料通过交联可以使  $T_g$  从 120 升到 170，分解温度（5% 失重）为 425。通过调节，1.55 $\mu\text{m}$  处的折射率可控制在 1.52~1.53；双折射为 0.0044~0.0047；传播中的光损耗小于 0.42dB/cm。图 11 为交联 FPAESI 的分子结构，图 12 为 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$  升温速率氮气环境下 FPAESI 的 TGA 数据。

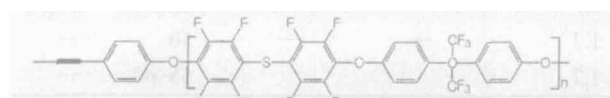


图 11 交联 FPAESI 的分子结构

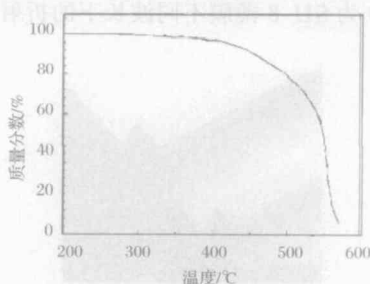


图 12 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$  升温速率氮气环境下 FPAESI 的 TGA 数据

#### 4.4 含氟—聚酰亚胺 (f-PI)

含氟—聚酰亚胺兼有了聚酰亚胺的耐高温特性和掺氟后的近红外吸收小的特点，耐热温度可达 380 $^\circ\text{C}$ ，近红外的传输损耗约为 0.3dB/cm，达到了实用要求，聚酰亚胺的折射率大小可以通过调整共聚物的含氟量从而调节折射率的大小，所以波导芯层和包层都可以采用聚酰亚胺。图 13 为含氟聚酰亚胺的波长与传输损耗

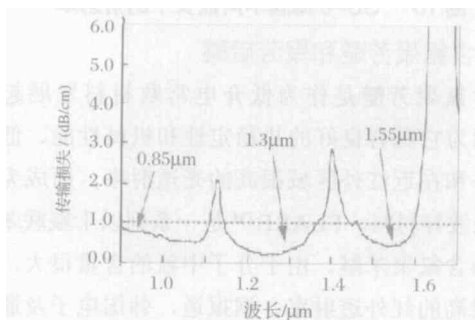


图 13 含氟聚酰亚胺的波长与传输损耗

失，图 14 为含氟聚酰亚胺不同温度下的传输损耗。

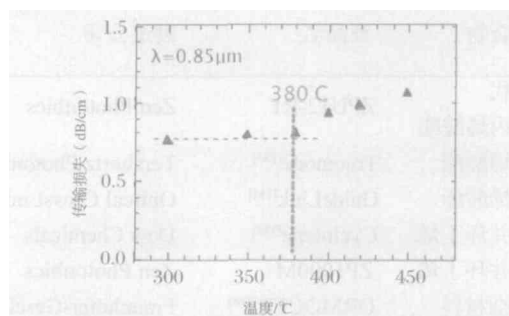


图 14 含氟聚酰亚胺不同温度下的传输损耗

聚酰亚胺 (PI) 由于其  $T_g$  高、介电常数低、膨胀系数低等特点，很早就被应用于宇航、电子行业作为耐高温绝缘材料，但在光波导领域的应用研究则是近几年才开始的，图 15 为含氟聚酰亚胺的典型结构。当把氟原子引入到聚酰亚胺中后，可以降低其在近红外区域的传输损耗，同时阻隔了 PI 的发色中心，减少了它们的电子相互作用，在可见光下黄色的 PI 变成白色，因而更加透明。普通的 PI 为不溶的有机物，但含氟 PI 的溶解性一般很好，这为光学器件加工带来方便。同时，材料的吸湿率也随着氟含量的增加而降低<sup>[17]</sup>。

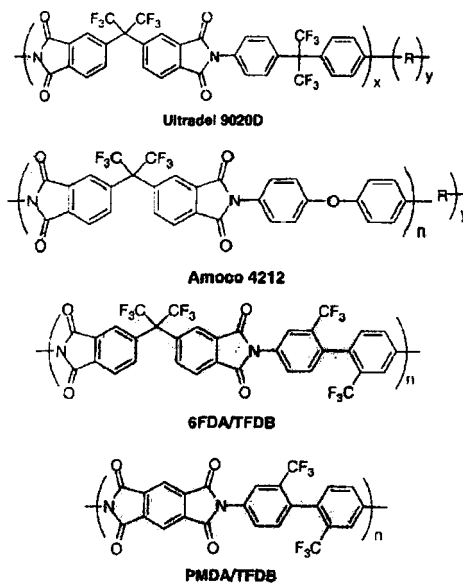


图 15 含氟聚酰亚胺的典型结构

#### 4.5 聚硅氧烷

因为聚硅氧烷中含有 (-Si-O-) 主链，所以比普通 (C-C-) 主链聚合物的热稳定性优异。目前采用的方法还是利用氘或氟来取代烷基的氢，以减少在近红外区域的传输损耗。日本 NTT 公司开发研究了一种氘代聚硅氧烷，所做的通道波导在 1.3 $\mu\text{m}$

波长处的传输损耗为 0.17dB/cm；在 1.55μm 时为 0.43dB/cm。折射率可以通过控制氘代苯基的含量来调节。它的热性能与氘代 PMMA 和含氟 PI 的比较表明，150 时氘代 PMMA 开始失重，450 完全分解，而含氟 PI 和氘代聚硅氧烷 400 以下重量没有变化，400 才开始分解，但氘代聚硅氧烷的失重较少<sup>[18-19]</sup>。

德国 Fraunhofer-Gesellschaft 公司开发了商品名为 ORMOCERs 的硅氧烷和全氟基有机单体或改性单体共聚物。这种共聚物侧基被氟取代后，红外波段传输损耗在 1.3μm 处小于 0.3dB/cm，在 1.55μm 处小于 0.4dB/cm，而且还可以通过含氟量来调节折射率。

聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 的热稳定性见图 16，表 4 归纳了不同固化条件对 PDMS 折射率的影响。

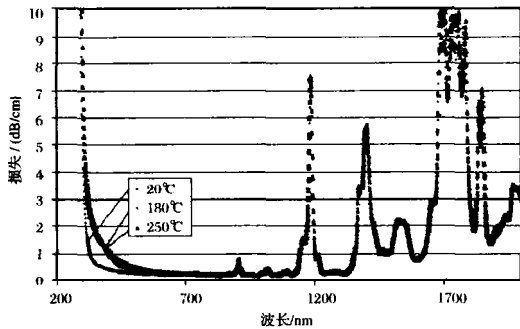


图 16 PDMS 的热稳定性

表 4 不同固化条件对 PDMS 折射率的影响

序号	固化温度/	固化时间	折射率	
			460nm	610nm
1	25	48 h	1.451	1.416
2	50	60 min	1.465	1.417
3	100	30 min	1.465	1.422
4	100	60 min	1.466	1.421
5	150	30 min	1.459	1.432
6	150	60 min	1.472	1.432

## 5 结束语

在满足先进光电印制电路板技术对这些材料的使用要求方面，包括最常提到的如热稳定性问题，在过去的 20 年间，研究工作者已经取得了巨大的进展。在利用光波实现短距离传送方面，光波导传送要比电气传送更具有传送损失低的优点，随着电子产品内实现光传输的技术进一步发展，我们有理由相信，光传输形式还会逐渐显示出它在布线密度

高、消费电能小、制造成本低等方面所显示出来的优势。光互连经过十多年的发展表明，光学互连在计算机内通讯方面的应用只是时间问题。从目前发展的趋势来看，聚合物波导制作技术及其应用以及自由空间光互连技术都是发展的重点，聚合物波导比光纤更容易集成，而光传送技术一旦在未来解决了外型尺寸、电能消耗、成本性等课题后，基板内光波导线路方式将会把信号传送速度提高到相当大的程度。光互连有可能在 ATM 数字交换系统中得到大量应用，在电子计算机的导板互连和多芯片组件内互连方面也将有广泛应用。PCI

## 参考文献

- [1] Griese E. A, High-Performance Hybrid Electrical-Optical Interconnection Technology for High-Speed Electronic Systems. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2001, 24 (3):375~383
- [2] Krabe D., Ebeling F., Arndt-Staufenbiel N., Lang G., Sheel W., New Technology for Electrical/Optical Systems on Module and Board Level: The EOCB Approach. IEEE Electronics Components and Technology Conference. 2000
- [3] Li Y., Ai J., Popelek J., Board level 2-D Data-Capable Optical Interconnection Circuits Using Polymer Fiber-Image Guides. Proc. of the IEEE, 2000, 88(6)
- [4] Moisel J. et al. "Optical Backplane" 27th European Conference on Optical Communication, 2001
- [5] Griese E. Optical Interconnection Technology for PCB Applications PC Fab June 2002
- [6] Griese E. A High-Performance Hybrid Electrical-Optical Interconnection Technology for High-Speed Electronic Systems. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2001, 24 (3):375~383
- [7] H.T. Holden. The developing technologies of integrated optical waveguides in printed circuits. Circuit World, 2003, 29(4):42~50
- [8] Alan F. Benner, Michael Ignatowski, Jeffrey A. Kash, Daniel M. Kuchta, and Mark B. Ritter. Exploitation of optical interconnects in future server architectures. IBM Journal of Research and Development, 2005, 49(4-5):755~775
- [9] S. Agelis, S. Jacobsson, M. Jonsson, A. Alping, and P. Ligander. Modular interconnection system for optical PCB and backplane communication. In Proceedings International Parallel and Distributed Processing Symposium., IEEE, 2002, 245~250
- [10] Chen, R.T., Lei L., Choi C., Liu, Y.J., Bihari, B., Wu, L.,

Tang, S., Wickman, R., Picor, B., Hibb-Brenner, M.K., Bristow, J., Liu, Y.S. Fully embedded board-level guided-wave opto-electronic interconnects Proceedings of the IEEE, 2000, 88(6):780~793

[11] J.P.D. Cook, G.O. Este, F.R. Shepherd, and S. Powell. Stable, low-loss optical waveguides and micromirrors fabricated in acrylate polymers. Applied Optics, 37(7):1220~1226, March 1998

[12] Claire Pitois. Fluorinated Polymer Optical Waveguides. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Department of Polymer Technology, Stockholm, Sweden, 2001

[13] John M. Ballato, Jr. Dennis W. Smith, Stephen H. Foulger, Earl Wagener, and Robert A. Norwood. Theoretical performance of polymer optical fibers, planar waveguides, and amplifiers. In Proceedings of SPIE —Design and Fabrication of Planar Optical Waveguide Devices and Materials, 2002,4805: 1~8

[14] Matthew L. Moynihan, Craig Allen, Tuan Ho, Luke Little, Nathan Pawlowski, Nick Pugliano, James G. Shelnut, Bruno Sicard, Hai Bin Zheng, and Garo Khanarian. Hybrid inorganic-organic aqueous base compatible waveguide materials for optical interconnect applications. In Proceedings of SPIE — Linear and Nonlinear Optics of Organic Materials III, Vol,

5212, P.50~60, San Diego, CA, USA, 2003

[15] T. Nakai, Y. Ueno, K. Kaneko, S. Tanahashi, and S. Takeda. A siloxane polymer lightwave circuit on ceramic substrate applicable to ultrafast optoelectronic multi-chip-modules. Optical and Quantum Electronics, 2001,33(7~10):1113~1124

[16] Kopetz, S. and Neyer, A.: Low loss and high temperature stable polymer waveguides for hybrid electrical-optical devices, Proceedings of the MICRO. tec 2003, München 2003, P. 109~110

[17] 梁东波,陈抱雪,彭一方,等. 含氟聚酰亚胺高分子光波导工艺研究[N].上海理工大学学报, 2003, 25(3)

[18] S. Kopetz, E. Rabe, W.J. Kang, and A. Neyer. Polysiloxane optical waveguide layer integrated in printed circuit board. Electronics Letters, 40(11):668~669, 2004

[19] H. Schr oder, J. Bauer, F. Ebling, and W. Scheel. Polymer optical interconnects for PCB. In First International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, pages 337~343, 2001

作者简介 :

张家亮 (1967~), 工程师, 主要从事覆铜板的研究和制造工作。

(未完待续)

更正启事

由于我刊印刷错误,造成安美特(中国)化学有限公司在2006年12月期杂志封面广告内容有误,特此更正。由此对安美特(中国)化学有限公司造成的不良影响,表示道歉。

更正内容如下:

安美特化学有限公司

电话:(852) 2722 0108 传真:(852) 2721 3540 www.atotech.com.hk

安美特(中国)化学有限公司

电话:(86) 20-8297 5160 传真:(86) 20-8297 5170 www.atotech.com.cn

上海分公司 电话:021-6921 0608 传真:021-6921 0202

南京分公司 电话:025-8480 1788 传真:025-8482 0708

天津分公司 电话:022-2762 3424 传真:022-2736 4939

重庆分公司 电话:023-6863 8767 传真:023-6861 6479

温州分公司 电话:0577-8893 8870 传真:0577-8893 8871

技术服务点电话

惠州 0752-2368050 东莞 0769-8920008 中山 0760-2288335 青岛 0532-84825740

成都 028-87771006 无锡 0510-3556445 宁波 0574-88117918

《印制电路信息》编辑部