

热熔处理聚合物光互连波导传输损耗特性

吕艳华¹, 刘奂奂², 庞拂飞²

(1. 上海大学 计算中心, 上海 200444; 2. 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200444)

摘要: 印刷光互连背板技术是解决未来大尺寸、高速板上数据互连的重要方案, 在超宽带光通信、大型数据中心和超级计算机等领域具有广阔应用前景。针对互连背板上聚合物光波导低损耗传输的关键问题, 提出基于热熔工艺的光波导处理技术以降低其光传输损耗。实验研究表明: 在 160℃ 热熔处理温度条件下, 实现了光波导传输损耗的降低。基于该技术有望在现有工艺基础上实现光波导传输性能的提升, 因此具有重要的实际应用价值。

关键词: 热熔处理; 光互连; 聚合物光波导

中图分类号: TN252 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)04-0042-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.04.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Transmission loss properties of the polymer optical interconnect waveguide processed by thermal reflow

LYU Yanhua¹, LIU Huanhuan², PANG Fufei²

(1. Computing Center, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. School of communication and information engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Optical waveguide on the printed circuit board is the most important solution for solving the problem in the future large size and high speed data interconnection, which has a lot of applications in broadband optical communication, big data center and supercomputer. In this paper, based on thermal reflow technique, the reduction of transmission loss of polymer optical waveguide on the printed circuit board is proposed. The experimental results demonstrate that the transmission loss of the waveguide is decreased after the optical waveguide experiences thermal reflow at 160℃. The proposed thermal reflow technique will be expected to adopt to improve the transmission performance of the optical waveguide on the printed circuit board showing important practical applications.

Key words: thermal reflow; optical interconnect; polymer optical waveguides

0 引言

近些年,随着大数据和云计算时代的到来,通信技术得到飞速发展,信息传输速率和传输带宽大幅提升^[1,2],对于数据互连硬件系统传输性能的要求也越来越高,传统的电互连技术受限于传输带宽和易受电磁干扰的问题,逐渐显露出在高速通信上的技术瓶颈^[3]。为此,人们探索一种更高速率、易于集成和能满

足人们日益增长的信息需求的新互连技术——光互连。在高速互连链路上,光互连作为传统的电互连的一种替代技术,其与电互连相比具有传输速率与互连通道无关、无电磁干扰、互连密度高、带宽高和功耗低等优点^[4,5]。在众多板级光互连技术中,聚合物光波导印制背板是实现中短距离光互连的重要方案,然而,随着光互连背板尺寸的不断提升,常规聚合物光波导的传输损耗高的问题越来越突出,已经成为制约其应用推广的关键瓶颈。

热熔处理技术在光波导领域具有非常广泛的应用,2004年,美国密歇根大学的 L. Guo 等人提出利用热熔工艺对聚苯乙烯光波导环形谐振腔器件进行处理,有效降低了光波导表面粗糙度,进而减少了光传输损耗,损耗降低量达 74dB/cm^[6],此后,基于热熔处理

收稿日期: 2018-12-08。

作者简介: 吕艳华(1978-),女,助理实验师,主要从事光纤及光波导研究。现工作于上海大学计算中心,从事光通信、光传感、光波导及光纤传感信号处理等领域前沿研究工作,目前针对印刷光互连背板技术、高速板上数据互连等重要技术问题提供解决方案。



的光波导器件被成功应用于生化传感器^[7]。2010年,美国MIT的J. Hu等人利用热熔工艺对 As_2S_3 硫属玻璃光波导进行处理,处理后的光波导传输损耗降低了50%^[8]。2018年,瑞典皇家理工学院的A. Marinins等人利用热熔工艺对硅基上的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)光波导进行了处理,几乎消除了由于光波导表面粗糙度而引入的光损耗^[9]。然而,在基于背板聚合物互连光波导领域,还没有开展相关研究。本文从实验上初步探索热熔工艺对聚合物互连光波导传输损耗特性的影响。

1 互连光波导制备

本文基于紫外光刻工艺制备互连光波导。光波导材料选用DOW公司的LIGHTLIN系列光敏聚合物光波导材料,基底采用FR-4印刷电路板材料。本文制备互连光波导的流程如下:①将基底进行清洗并烘干;②旋涂下包层聚合物材料,由于表面张力作用,旋涂后的下包层边缘会凸起,因此,需要对旋涂后的下包层进行边缘刮刀处理和热固化;③在下包层表面旋涂芯层聚合物光波导材料,并进行热固化;④对芯层光波导进行紫外曝光,采用掩模板接触式曝光工艺;⑤为了充分显影,采用超声振荡进行辅助显影过程;⑥旋涂上包层光波导材料,并进行热固化烘烤,即可完成光波导制备工作。图1是互连光波导的制备工艺流程图。

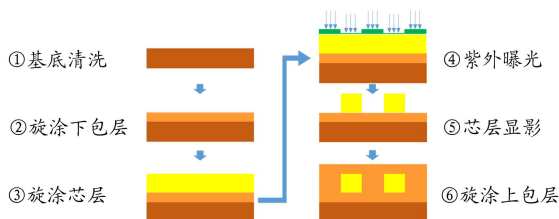


图1 互连光波导制备工艺流程图

为了对所制备的互连光波导传输损耗进行测试,需要对光波导进行端面磨抛处理,研磨砂纸颗粒目数分别为360Cw、600Cw、1200Cw、2000Cw和3000Cw时,研磨时间依次为2min、3min、5min、10min和20min。每种砂纸的具体研磨时间可根据端面粗糙程度稍作修改,在磨抛过程中应及时对端面进行显微镜观察以调整研磨时间,整体上砂纸粗糙度越小研磨时间越长。从粗到细依次研磨后,得到的互连光波导端面显微照片如图2所示。可以看出,通过光刻工艺实现了近似方形的光波导制备,并通过磨抛工艺实现了平整的光波导耦合端面,截面尺寸为 $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 。

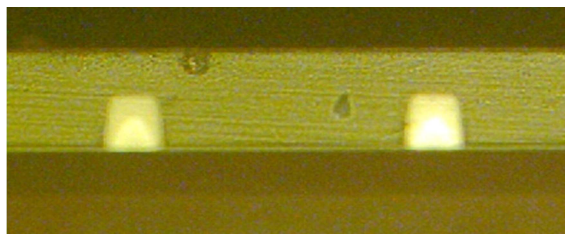


图2 互连光波导端面显微照片

2 互连光波导的热熔处理实验研究

利用上述紫外光刻工艺,我们制备了多组互连光波导样品。之后,利用温控加热箱对4组互连光波导样品进行热熔处理工艺研究,其中互连光波导的传输损耗均是在热熔处理高温保持相应的时间之后,恢复到常温的情况下测量得到。具体的实验方案为:在不同温度条件下,逐步递增热熔处理时间,以确定优化的热熔处理工艺参数;热熔处理温度分别为 140°C 、 160°C 、 180°C 和 200°C ,在每个温度参数下,以0.5h为增量研究0~4h范围内的热熔引入的光传输损耗变化情况。光波导的测试光路原理图如图3所示,光源波长为850nm,为了降低耦合损耗,输入采用 $50\mu\text{m}$ 芯径多模光纤,输出采用 $62.5\mu\text{m}$ 芯径多模光纤,同时,在光纤和光波导耦合端面之间加折射率匹配液,以减小端面反射影响。图4为各热熔处理温度和时间参数下,传输损耗的变化情况。本文所制备的每个光波导样品均具有12个通道,这样测试结果更具可靠性。

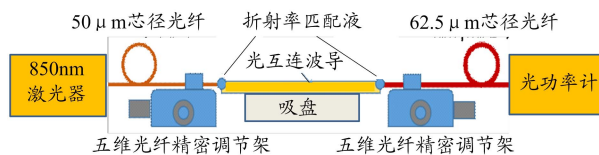


图3 光互连波导传输损耗测试光路原理图

由图4(a)可以看出,热熔处理温度在 140°C 、热熔处理累积时间为0.5~4h时,各通道光波导的损耗有增有减,其中,当热熔处理累积时间到达1~2h时,基本所有波导通道的损耗都减小,而当热熔处理累积时间超过2h,大多数光波导的损耗反而开始增加,不过损耗降低和增加幅度不大,在整个处理过程后光波导损耗变化不明显。

当热熔处理温度为 160°C 时,热熔处理对波导损耗的影响显著,累积热熔处理时间从0.5~4h过程中光波导损耗持续减小,热熔处理对光波导损耗性能起到改善作用,与热熔处理温度为 140°C 时相比,损耗改善程度显著。

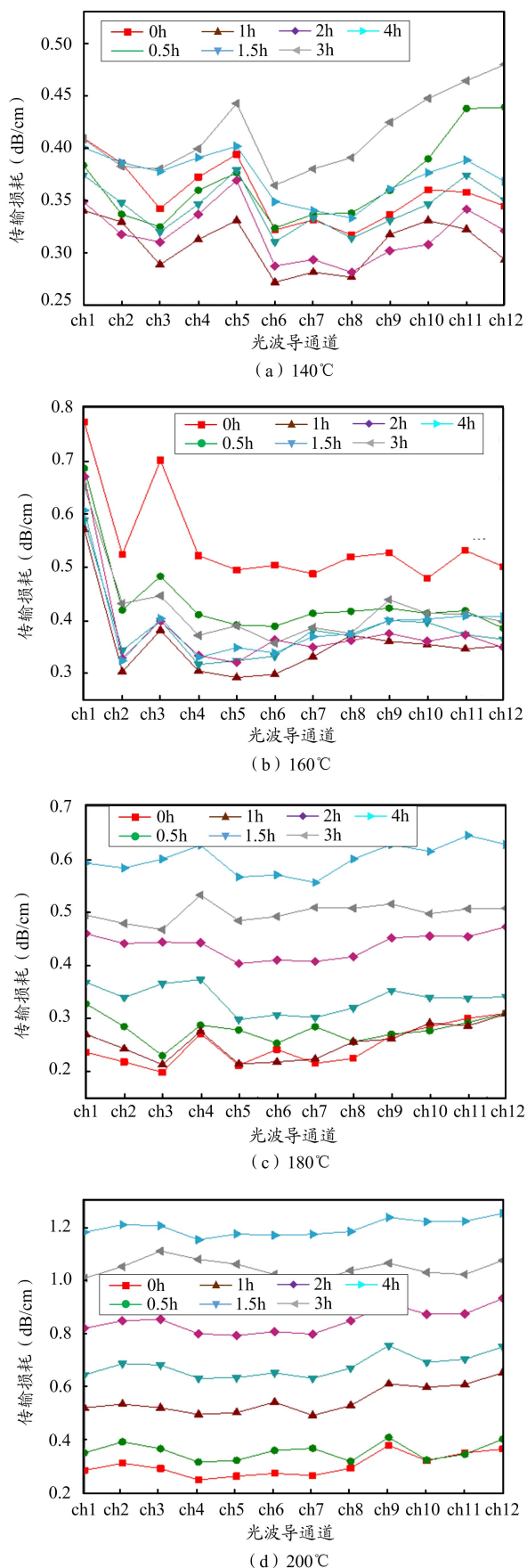


图4 热熔温度及时间对传输损耗影响

当热熔处理温度为 180℃时, 各累积热熔处理时间对光波导损耗的影响也较为明显, 但与热熔处理温度 160℃不同的是, 光波导损耗是朝着增大的趋势变化, 热熔处理导致光波导损耗性能恶化。在累积热熔处理时间较短的 0.5~1h 内光波导损耗变化不明显, 随着累积时间的不断增加光波导损耗不断加大。当热熔处理温度为 200℃时, 各累积热熔处理时间对光波导性能的影响情况与 180℃时情况类似, 热熔处理使得光波导性能进一步恶化, 热熔处理影响从 0.5h 开始就有明显变化, 并且损耗增大程度也有所增加。可以预测, 此后随着热熔处理温度增加, 热熔处理将使得光波导损耗性能趋向劣化。

为直观比较各热熔处理温度下的光波导损耗变化情况, 将每种热熔处理温度下和每个累积热熔处理时间下 12 个通道光波导的损耗值取平均, 得到光波导传输损耗变化量 (处理后平均与处理前平均的差值) 与热熔处理工艺参数之间关系, 如图 5 所示。在热熔处理温度 160℃条件下, 光波导传输损耗改善最好的累积时间为 1h, 平均损耗降低量约 0.19dB/cm, 而超过这个时间波导损耗将会逐步增大, 所以热熔处理累积时间不宜过长。综合上述光波导损耗数据的分析, 本文所制备的聚合物光波导热熔处理最佳温度和累积时间约为 160℃恒温 1h。

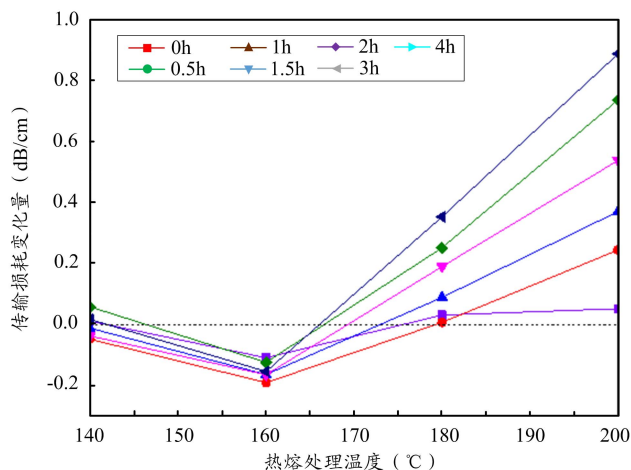


图5 光波导传输损耗变化量随着热熔处理工艺参数变化关系

3 互连光波导的热熔处理讨论

本文所采用的互连光波导材料为聚硅氧烷类高分子聚合物, 在不同温度条件下, 多数聚合物材料存在 3 种物理状态: 玻璃态、高弹态和粘流态。随着温度的升高, 聚合物会发生玻璃化转变, 即高弹态和玻璃态之间的转变, 从分子结构上讲, 玻璃化转变温度是

高聚物无定形部分从冻结状态到解冻状态的一种松弛现象。当热处理温度高于玻璃化转变温度时,聚合物光波导表现出高弹性性质,整个分子链运动而表现出粘流性质。

在热熔处理过程中随着聚合物波导不断地吸收热量,其自身温度会逐渐接近玻璃化转变温度,聚合物波导会逐渐软化,波导内部应力渐渐得到释放,波导表面由于表面张力的作用会慢慢由凹凸不平趋于光滑平整,从而达到降低光的散射损耗效果。

比较各热熔处理温度条件下光波导传输损耗变化量,可以看出在各个热熔处理温度下,160℃处理温度条件下光波导传输损耗改善最为明显,光传输损耗的降低主要源于该热熔处理温度条件下光波导聚合物材料的软化效应,其促使芯-包界面应力得到释放并趋于平整,从而达到降低光的散射损耗效果。热熔处理温度从180℃开始,热熔处理将增加光波导传输损耗,热熔处理温度为200℃时,这种影响非常显著,导致损耗增加的主要原因是过高的热熔处理温度会引起光波导聚合物材料的热分解,从而导致吸收损耗增加^[10]。此外,FR-4基底与光波导聚合物之间也存在热膨胀失配问题,可能导致聚合物的微观裂纹也会引起损耗的增加。因此,需要选择合适的热熔处理温度与热熔处理时间对波导进行热熔处理,以降低光波导传输损耗。

4 结束语

本文通过实验研究了热熔处理工艺对互连光波导传输损耗性能的影响,通过改变热熔工艺温度及处理持续时间2个参量,初步探索了商用印刷光互连背板光波导传输损耗变化规律。通过实验测试分析得到:当热熔处理温度为160℃,处理持续时间为1h时,热熔处理传输损耗性能改善最优,光传输损耗平均值

降低量约0.19dB/cm,对于大尺寸印刷光互连背板(如长度大于50cm)的应用目标而言,总的光传输损耗降低量将十分可观。因此,本文的研究在未来大尺寸光互连系统开发中具有重要作用。

参考文献:

- [1] DANGEL R, HOFRICHTER J, HORST F, et al. Polymer waveguides for electro-optical integration in data centers and high-performance computers [J]. Optics Express, 2015, 23(4): 4736–4750.
- [2] JOU J, SHIH T, CHIU C. 400Gb/s optical transmitter and receiver modules for on-board interconnects using polymer waveguide arrays [J]. OSA Continuum, 2018, 1(2): 658–667.
- [3] HAURYLAU M, CHEN G, CHEN H, et al. On-Chip Optical Interconnect Roadmap: Challenges and Critical Directions [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2006, 12(6): 1699–1705.
- [4] DANGEL R, BERGER C, BEYELER R, et al. Polymer-Waveguide-Based Board-Level Optical Interconnect Technology for Datacom Applications [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2008, 31(4): 759–767.
- [5] SCHARES L, KASH J, DOANY F, et al. Terabus: Terabit/Second-Class Card-Level Optical Interconnect Technologies[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2006, 12(5): 1032–1044.
- [6] CHAO C, GUO L. Reduction of Surface Scattering Loss in Polymer Microrings Using Thermal-Reflow Technique [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(6): 1498–1500.
- [7] CHAO C, GUO L. Polymer Microring Resonators for Biochemical Sensing Applications[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2006, 12(1): 134–142.
- [8] HU J, FENG N, CARLIE N, et al. Optical loss reduction in high-index-contrast chalcogenide glass waveguides via thermal reflow [J]. Optics Express, 2010, 18(2): 1469–1478.
- [9] MARININS A, OZOLINS O, PANG X, et al. Thermal Reflow Engineered Cylindrical Polymer Waveguides for Optical Interconnects [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2018, 30(5): 447–450.
- [10] ELDADA L, SHACKLETTE L W. Advances in Polymer Integrated Optics[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2000, 6(1): 54–68.

《光通信技术》加入 OSID 开放学科计划

本刊自2018年9月3日起加入OSID(Open Science Identity)开放科学计划。通过在期刊每篇文章上添加OSID开放科学(资源服务)标识码,可以使论文成果更加立体化展现,增强论文质量,促进传播与交流;使作者获得直接拓展学术人脉的渠道,并为作者与研究同领域课题的学者交流互动提供途径。操作流程如下:作者在收到电子版稿件录用通知时,编辑部会为每篇录用的文章创建一个OSID码,作者根据邮件说明通过微信注册OSID帐号、录制并上传1~5段(每段时长1分钟)的语音到OSID码中,这样,全世界都能听到您的声音!

《光通信技术》编辑部