

基于 Norland 紫外固化胶的热光开关器件

王旗,王希斌,孙小强,田亮,王菲*,张大明

(吉林大学电子科学与工程学院 集成光电子学国家重点联合实验室,吉林 长春 130012)

摘要:采用新型聚合物材料 Norland 紫外固化胶(NOA)制备了聚合物 M-Z 型热光开关器件。对 NOA 薄膜材料的光学性质进行了表征,采用感应耦合等离子体(ICP)方法制备出形貌良好的波导器件。测得在 1 550 nm 波长下,长 2.2 cm 的直波导插入损耗为 8.3 dB。在电极上施加直流信号,测得热光开关的消光比为 11 dB,驱动功率为 85 mW。引入直流偏置网络,获得了器件的开关特性曲线,测得开关器件的上升时间为 1.085 ms,下降时间为 489.5 μ s。实验结果表明:NOA 材料在热光开关及其它聚合物光波导集成器件的制备中具有很大的应用潜力。

关键词:平面光波导;聚合物光波导;热光开关;Norland 紫外固化胶

中图分类号:TN252 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/CO.20120502.0194

Thermo-optic switch device based on Norland optical adhesive

WANG Qi, WANG Xi-bin, SUN Xiao-qiang, TIAN Liang, WANG Fei*, ZHANG Da-ming

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

* *Corresponding author, E-mail: wang_fei@jlu.edu.cn*

Abstract: Norland Optical Adhesive(NOA), a new type of polymer material, is used to fabricate the Mach-Zehnder thermo-optic switch in this paper. The optical properties of NOA film materials are characterized. The waveguides with good profiles are fabricated by the Inductively Coupled Plasma(ICP) method. The insertion loss of a 2.2 cm-length straight waveguide is 8.3 dB at 1 550 nm. The extinction ratio of the thermo-optic switch is 11 dB and the driving power is 83 mW when the DC bias is loaded on the electrodes. The switching property of the device is tested with DC bias, and the rise time and the fall time of the switch are 1.085 ms and 489.5 μ s, respectively. Experimental results show that the NOA material has great potentials in fabricating thermo-optic switches and other polymer waveguide integrated devices.

Key words: planar optical waveguide; polymer optical waveguide; thermo-optic switch; Norland Optical Adhesive(NOA)

收稿日期:2011-11-21;修订日期:2012-01-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61077041, No. 60807029);吉林省青年科研基金资助项目(No. 20100174);吉林大学基本科研业务费专项资金资助项目(No. 200810028, No. 200905005, No. 201100253)

1 引言

随着光通信领域的快速发展,对光开关和调制器的需求越来越大。其中,热光开关的成本较低,是目前较为成熟的商品化产品^[1]。这种开关利用热光效应对光场进行调制,从而实现开关功能,具有驱动功耗低、隔离度高、体积小、易于集成成为大规模的开关阵列等优点。

由于聚合物材料具有热光系数大和热导率低的特点^[2-4],早在20世纪80年代,人们就开始利用聚合物材料制备热光开关。相比于硅基无机光波导器件,有机聚合物光波导器件的加工工艺较为简单,只需通过涂膜、光刻等工艺便可制备出复杂的光电集成器件。2003年,复旦大学研究人员采用有机/无机杂化材料制备了波导型热光开关器件。2009年,吉林大学王微等人采用甲基丙烯酸甲酯和甲基丙烯酸环氧丙酯的共聚物(PMMA-GMA)作为波导材料,制备出M-Z型热光开关器件^[5]。2010年,高磊等人采用SU-8聚合物制备了MMI-MZI型热光开关^[6]。

本文采用新的聚合物材料 Norland 紫外固化胶(Norland Optical Adhesive, NOA)来制备M-Z型热光开关器件,对材料的光学性能进行了表征,并对器件的损耗和开关性能进行了测试。

2 材料特性

NOA是一种光学透明,在紫外光照射下即可固化的液态光聚物,其固化时间取决于应用厚度和接受施加紫外光的能量。与其它聚合物材料相比,NOA材料的制备工艺简单,可以快速固化,具有极好的透光性,低收缩和轻微的弹性^[7],在宽温度范围内稳定性较好,并且吸收损耗较低,因此可以将NOA材料用于制备光波导器件。这种材料还被应用于纳米压印技术^[8]、分光器^[9]、传感器^[10]、高增益光放大器^[11]以及柔性波导器件^[12],

在光集成器件领域具有广阔的发展前景。

将NOA88和NOA61两种材料分别在Si衬底上旋涂成膜,使用椭偏仪对材料的折射率进行测量拟合,得到的折射率拟合结果如图1所示。从图中可以看出,在1550 nm波长,NOA61的折射率为1.5714,NOA88的折射率为1.5594,因此选择NOA88作为包层材料,NOA61作为芯层材料。

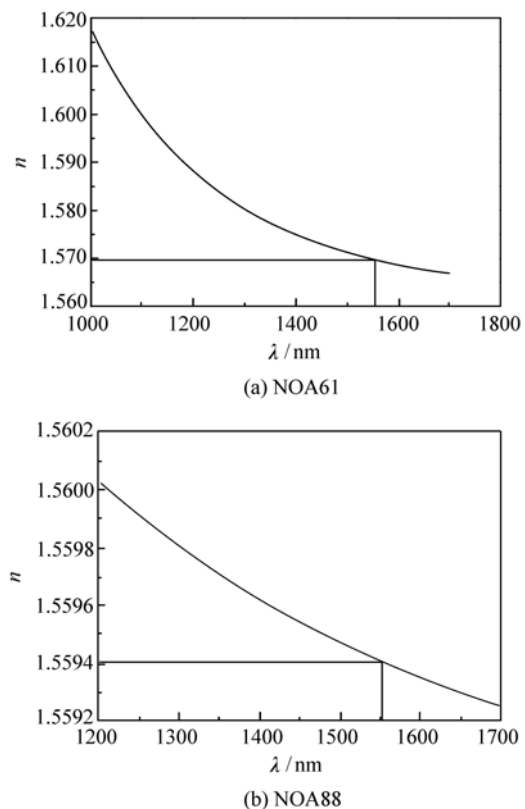


图1 NOA61与NOA88的折射率拟合结果
Fig. 1 Fitting results of refractive indexes of (a) NOA61 and (b) NOA88

高质量的聚合物薄膜是制备光波导器件的前提条件。本文使用原子力显微镜对NOA薄膜表面粗糙度进行了表征,如图2所示。粗糙度分析结果显示:在 $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ 范围内,薄膜表面RMS值为1.18 nm,可以满足制备光波导器件的要求。

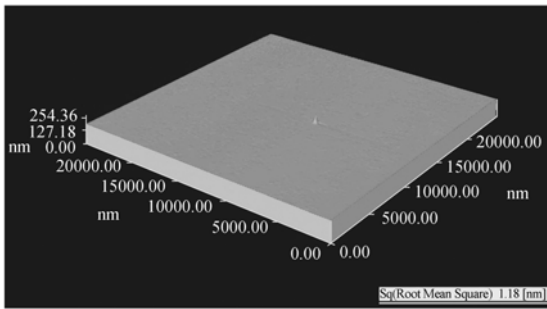


图2 NOA 聚合物薄膜表面原子力显微照片

Fig. 2 AFM photograph of NOA polymer film surface

3 器件制备及测试

3.1 条形波导器件

为了确定 NOA 材料制备热光开关器件的可行性,首先制备了条形波导器件。工艺方法如下:在已经清洁干燥的硅衬底上旋涂 NOA88 材料作为下包层,紫外固化后,在包层薄膜表面旋涂 NOA61 材料作为芯层,紫外固化后,在芯层表面蒸镀铝掩模层,然后进行光刻、显影,接着采用 ICP 刻蚀方法制备出矩形截面波导,去掉铝掩模层后,旋涂 NOA88 上包层并进行紫外固化,完成条形波导的制备。对制作的波导进行了测试,在 1550 nm 波长下,长 2.2 cm 的直波导插入损耗为 8.3 dB,输入光功率为 0.05 mW 时,波导的红外近场输出光斑如图 3 所示。

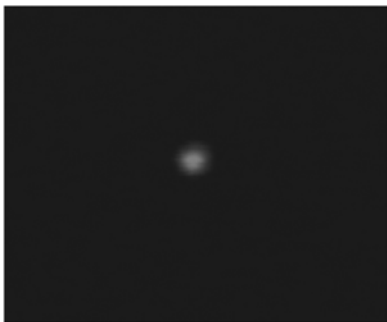


图3 条型波导的红外近场输出光斑

Fig. 3 Output near field optical pattern of strip waveguide

3.2 热光开关器件

采用 NOA 材料和脊形光波导结构制备 M-Z 型聚合物热光开关器件。由于增大脊形波导的上覆盖层厚度可避免电极对光的吸收,使损耗降低,但如此热光开关器件中热量的传递与消散时间会增加,使得开关的上升和下降时间延长,因此综合考虑开关响应时间与电极吸收损耗两项指标来优化热光开关器件结构。图 4 为波导截面示意图。器件制备工艺与条形波导制备方法相同,只需在波导上包层上面蒸镀一层铝电极。制备出的热光开关器件波导截面的显微照片如图 5 所示。图中显示,制备的波导具有良好的矩形截面,上下包层的厚度为 7 μm ,脊高为 5 μm ,平板厚度为 4 μm 。Al 电极的厚度约为 100 nm,电极的电阻为 980 Ω 。

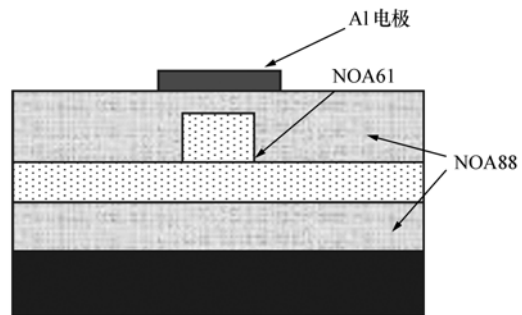


图4 脊形波导结构截面图

Fig. 4 Cross section structure of ridge waveguide

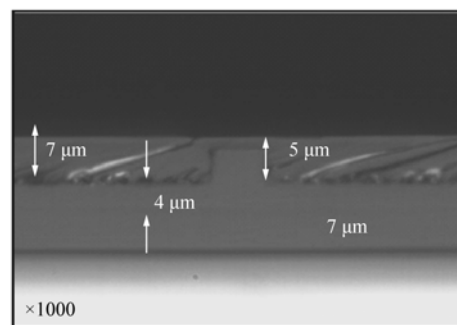


图5 热光开关器件波导截面示意图

Fig. 5 Cross section of thermo-optical switch device

在 1550 nm 波长处对器件的损耗和开关性

能进行了测试,图6为热光开关器件的开关特性曲线。从图中可以看出,开关上升时间为1.085 ms,下降时间为489.5 μ s。测试时对开关电极直接施加直流信号,通过光纤输入光功率计测量样品的输出光强,得到样品的输出光功率随电极加热功率变化曲线如图7所示。图中显示,该热光器件的消光比为11 dB,驱动功率为85 mW。由于包层材料较厚,热效应不明显而导致器件驱动功率过大,若进一步改进工艺过程,器件的性能将会得到较大的提高。

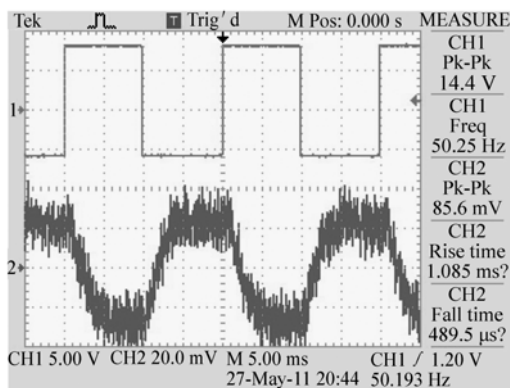


图6 热光开关特性曲线

Fig.6 Switching response curve of thermo-optic switch on 0.2 kHz rectangular wave
The upper signal is voltage source, and the lower one is switching response

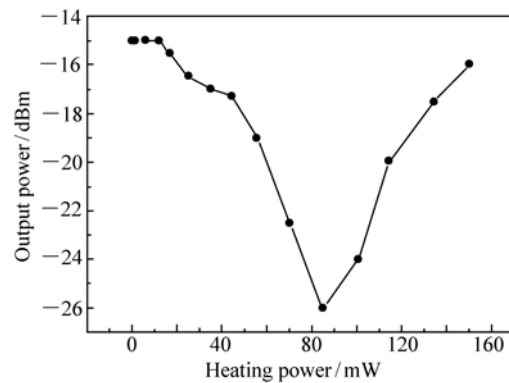


图7 输出光功率随电极加热功率变化曲线

Fig.7 Curve of output power as heating power through electrode

4 结 论

本文采用新型聚合物材料 NOA 制备了热光开关器件。摸索出了 NOA 聚合物材料制备光波导器件的最佳工艺条件。制备了长 2.2 cm 的条形波导,测得其在 1 550 nm 波长下插入损耗为 8.3 dB。在此基础上制备了 M-Z 型热光开关器件,器件的消光比为 11 dB,驱动功率为 85 mW,开关上升时间为 1.085 ms,下降时间为 489.5 μ s。实验结果表明:这种新型低损耗的 NOA 材料在热光开关及其它聚合物波导集成器件的制备中具有很大的应用潜力。

参考文献:

- [1] SIEBEL U, HAUFFE R, PETERMANN K. Crosstalk-enhanced polymer digital optical switch based on a W-shape[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, 12(1):40-41.
- [2] OH M C, LEE H J, LEE M H, et al.. Asymmetric X-junction thermo-optic switches based on fluorinated polymer waveguides[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, 10(6):813-815.
- [3] HIDA Y, Ooba N, YOSHIMURA R, et al.. Influence of humidity on transmission in a Y-branch thermo-optic switch composed of deuterated fluoromethacrylate polymer waveguides[J]. *Electron. Lett.*, 1997, 33(7):626-627.
- [4] DIEMEER M B J, BRONS J J, TROMMEL E S. Polymer optical waveguide switch using the thermo-optic effect[J]. *J Lightwave Technol.*, 1997, 7(3):449-453.
- [5] 王微. 低功耗聚合物 Mach-Zehnder 热光开关的研制[J]. *光子学报*, 2010, 39(4):610-613.
WANG W. Low power consumption polymer thermo-optic switch with Mach-Zehnder interferometer[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(4):610-613. (in Chinese)
- [6] 高磊. 基于负型光刻胶 SU-8 的光开关的研究[D]. 长春:吉林大学, 2010.
GAO L. Research of optical switches based on negative photoresist SU-8[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chi-

nese)

- [7] WAGLI P, HOMS Y A, DE ROOIJ N F. Norland optical adhesive (NOA81) microchannels with adjustable surface properties and high chemical resistance against IR-transparent organic solvents[J]. *Procedia Eng.*, 2010, 5:460-463.
- [8] KIM Y S, LEE N Y, LIM J R. Nanofeature-patterned polymer mold fabrication toward precisely defined nanostructure replication[J]. *SPIE*, 2005, 17:5867-5870.
- [9] SINGHAL R, SATYANARAYAN M N, PAL S. Effect of residual resist on performance of single-mode 1 × 4 optical splitter in photosensitive polymer[J]. *Fiber and Integrated Opt.*, 2010, 29:480-490.
- [10] LIU J, SUN Y, FAN X D. Highly versatile fiber-based optical Fabry-Perot gas sensor[J]. *Opt. Express*, 2009, 17(4): 2731-2738.
- [11] TSANG K CH, WONG CH Y, PUN E Y B. High-gain optical amplification in Eu^{3+} -doped polymer[J]. *Opt. Lett.*, 2010, 35(4): 520-522.
- [12] KIM J W, KIM K J, OH M CH. Plastic optical pressure sensors using a flexible polymer waveguide[C]//Integrated Photonics and Nanophotonics Research and Applications (IPNRA). Honolulu, Hawaii, USA, July 17, 2009.

作者简介:王 旗(1987—),女,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事聚合物光波导延时线及集成器件方面的研究。

E-mail: qiwang10@mails.jlu.edu.cn

王希斌(1984—),男,吉林辽源人,博士研究生,主要从事非线性光学材料的合成以及聚合物有源、无源波导器件的设计和制备方面的研究。E-mail: wangxibin.jlu@163.com

孙小强(1977—),男,吉林长春人,博士,讲师,主要从事有机集成光子器件方面的研究。

E-mail: sunxq@jlu.edu.cn

田 亮(1986—),男,吉林长春人,硕士研究生,主要从事聚合物光波导传感器方面的研究。

E-mail: tianl2046@163.com

王 菲(1978—),女,黑龙江哈尔滨人,博士,副教授,主要从事聚合物集成光子学器件方面的研究。

E-mail: wang_fei@jlu.edu.cn

张大明(1970—),男,吉林长春人,博士,教授,博士生导师,主要从事高速光电子器件、有机光子器件及其集成技术方面的研究。E-mail: zhangdm@jlu.edu.cn