

M-Z 型极化 DANS 聚合物电光波导强度调制器研究*

高福斌¹ 杜国同 张 平² 邢汝冰²

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

(2 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘 要 研究了 Mach-Zehnder 型极化聚合物电光波导强度调制器的制备工艺. 器件采用 DANS (4-dimethylamino-4'-nitro-stilbene) 聚合物为电光波导材料, 由电光波导层、上下介质缓冲层、上下金属电极层构成五层波导结构. 对五层光波导各层之间的光学、化学以及微加工工艺的相互兼容性进行了深入研究. 采用紫外光漂白方法制备出侧壁光滑的条波导, 采用钨丝电晕极化方法对 DANS 聚合物波导进行有效极化, 使其具有电光特性. 通过优化器件制备工艺, 研制出工作波长为 1300 nm 的 M-Z 型电光波导强度调制器原型器件. 实验测得器件半波电压约为 10 V, 调制带宽约为 1 GHz.

关键词 DANS 聚合物; 电晕极化; 紫外光漂白; 电光波导; 强度调制器

中图分类号 TN256; TN761 **文献标识码** A

0 引言

近年来, 在非线性光学领域有机聚合物非线性光学材料以其具备的各种优良性能得到广泛的研究和应用. 国内在聚合物阵列波导光栅复用器、聚合物热光型可变衰减器以及聚合物光栅耦合器等方面的研究取得了较好的结果^[1~3]. 在有机聚合物电光波导器件研究方面也取得了明显进展, 目前已经研制出多种有机聚合物电光波导器件, 器件的性能在不断地完善和提高. Yongqiang Shi 等人通过控制生色团的形状, 获得了半波电压小于 1 V 的聚合物电光调制器^[1], 进一步展示出有机聚合物材料在电光波导器件研究方面的优势. 国内也有关于有机聚合物电光调制器的研究报道^[2,3]. 本文利用以 DANS (4-dimethylamino-4'-nitro-stilbene) 为生色团的键合型极化聚合物, 研制出工作波长为 1300nm 的 Mach-Zehnder 型电光波导强度调制器.

1 器件结构及原理

器件由电光聚合物薄膜、上下介质缓冲层和上下电极五层波导结构组成, 其剖面如图 1. 电光聚合物波导薄膜厚度约 1500 nm. 上下介质缓冲层分别采用有机硅薄膜(折射率为 1.48)和 SiO₂ 薄膜(折射率为 1.46), 厚度均为 2000 nm. 上下金属电极均由真空镀膜沉积. 条形波导宽度为 6000 nm, 电极长度为 15 mm, 电极宽度为 15000 nm.

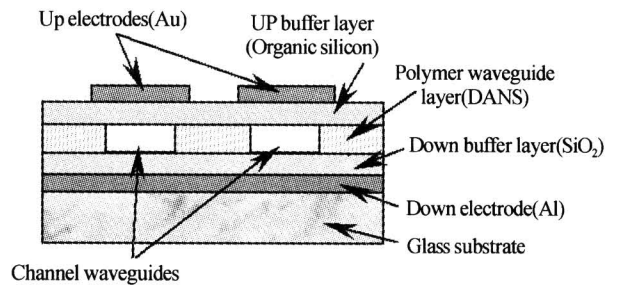


图 1 M-Z 型幅度调制器剖面结构

Fig. 1 The section structure of M-Z type amplitude modulator

器件采用光波导形式的 Mach-Zehnder 干涉仪(见图 2), 干涉仪由分束器、平行波导、合束器构成,

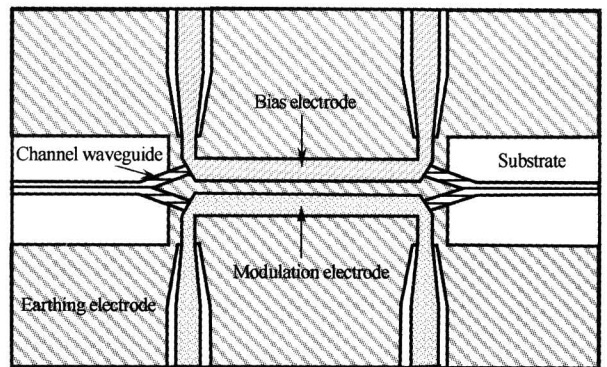


图 2 M-Z 型幅度调制器光波导和电极结构

Fig. 2 Waveguide and electrode structure of M-Z type amplitude modulator

分束器及合束器的分支张角均为 1.5°. 一束光经过分束器分成两束光分别进入 Mach-Zehnder 干涉仪的两个臂, 这两束光因波导层的电光效应分别受到施加在调制电极上的信号电压所调制, 使两束光的相位发生变化; 然后经过合束器汇聚成一束光, 由于干涉效应转换为强度调制. 器件输出光强可表示为

* 国家自然科学基金(60274041)资助

Tel: 0431-5168241-8205 Email: gafb@jlu.edu.cn

收稿日期: 2005-02-22

$$I = I_0 \sin^2(V/V_\pi) \quad (1)$$

式中, V 为调制电压, V_π 为半波电压. 在 Mach-Zehnder 干涉仪的两个臂上分别施加信号电压和直流偏压. 直流偏压使器件工作在 $I \sim V$ 曲线的线性区域.

2 制备工艺

选用高质量的光学玻璃片做为衬底, 表面经过严格清洗后, 采用磁控射频溅射方法制备出结构致密、表面光洁的 Al 金属膜, 并通过光刻腐蚀制备出底电极图形; 由于玻璃衬底和 Al 金属膜都能够在某种程度上耐高温并具有一定的抗离子轰击能力, 因此仍然采用磁控溅射方法, 溅射一层结构致密、表面光洁的 SiO_2 膜(厚度约为 $2 \mu\text{m}$)做为波导下缓冲层. 由于 DANS 溶液的粘滞度相当小, 因此采用滴涂(drop-coating)方法, 在 SiO_2 膜表面沉积厚度约 $1.5 \mu\text{m}$ 的 DANS 薄膜, 形成各向同性平面波导; 采用钨丝电晕极化方法对聚合物薄膜进行极化, 形成各向异性平面波导并具备电光效应.

采用紫外光漂白(UV photobleaching)方法制备 DANS 条形波导. 其制备工艺过程如下: 利用磁控溅射在 DANS 薄膜上溅射铝膜, 并蚀刻出 Mach-Zehnder 干涉仪波导图案, 做为选择性紫外曝光的掩模. 选择 GGZ375 型高压汞灯做为紫外漂白光源, 将带有掩模的样品置于距光源 10 cm 处进行光漂白. 紫外光在薄膜表面的平均功率约为 $125 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 漂白时样品周围的环境温度约为 90°C , 漂白时间为 40 min. 经过测量^[5], 漂白区域非寻常光折射率下降 0.0123, 厚度下降 23 nm. 去掉铝掩模后, 未漂白区域形成 Mach-Zehnder 干涉仪型条波导.

由于常见的有机光学材料(例如 PMMA 类材料)溶液都与 DANS 波导薄膜互溶, 因此不能做为缓冲层材料. 经过大量试验, 选择一种有机硅做为上缓冲层材料. 在制备好的光波导表面旋涂一层有机硅膜(厚度约为 2000 nm)做为波导上缓冲层. 在上缓冲层表面真空蒸发 Au 金属膜, 并刻蚀出上电

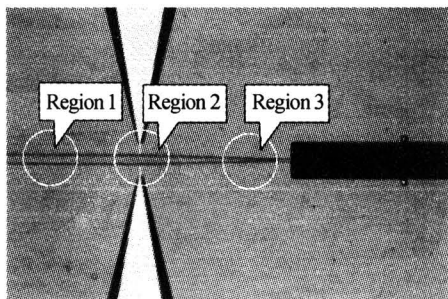


图 3 幅度调制器显微照片(局部)
Fig. 3 The micrograph of the amplitude modulator(part)

极图形. 对波导端面进行处理后, 进行引线封装, 完成整个器件样品制备. 强度调制器表面显微照片及各局部区域放大照片如图 3~6.

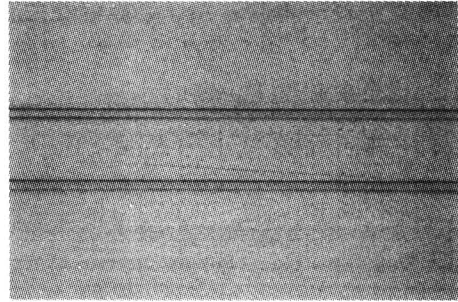


图 4 平行条波导显微照片(图 3-1 区)
Fig. 4 The micrograph of the parallel strip waveguides (region 1 in Fig. 3)

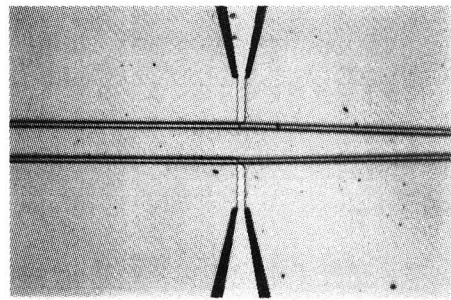


图 5 调制电极显微照片(图 3-2 区)
Fig. 5 The micrograph of the modulation electrodes (region 2 in Fig. 3)

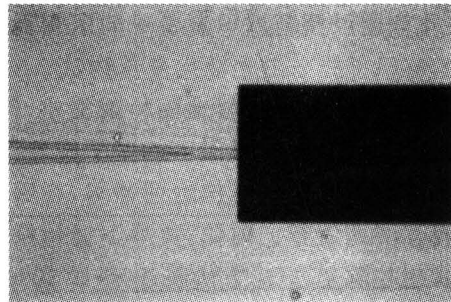


图 6 分支波导显微照片(图 3-3 区)
Fig. 6 The micrograph of the offshoot waveguide (region 3 in Fig. 3)

3 器件测试

器件半波电压的测量装置如图 7. 1300 nm 半导体激光器发出的激光经过光纤偏振器耦合入光波导强度调制器, 其输出光强由近红外微光功率计探

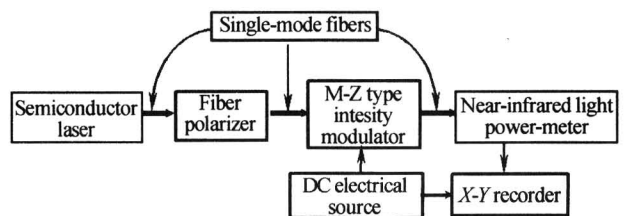


图 7 器件半波电压测量装置
Fig. 7 The measurement setup of the half-wave voltage of the device

测,用连续可调直流电压信号驱动强度调制器,用X-Y记录仪显示出器件输出光强 I 随调制电压 V 的变化曲线如图8.由 $I-V$ 曲线确定半波电压约为10V.利用数字万用表测量器件电极电容为6.4pF,由调制带宽定义 $\Delta f_m = (\pi R_l C_d)^{-1}$ 估测调制带宽约为1GHz(设负载阻抗 $R_l = 50\Omega$).

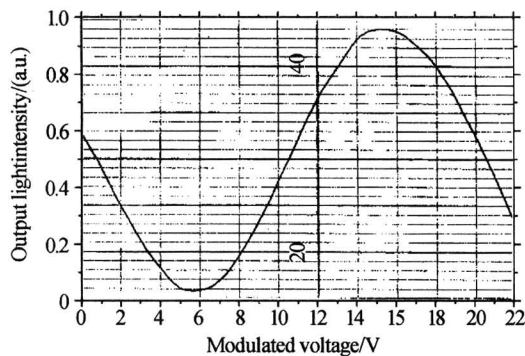


图8 输出光强与调制电压的关系曲线
Fig. 8 Relation curve of output light intensity with modulation voltage

4 分析讨论

本文深入研究了电光极化聚合物(DANS)光波导强度调制器的制备工艺.与常规无机介质光波导调制器制备工艺不同,由于聚合物波导材料与缓冲层材料的相互匹配和化学兼容性问题、耐光刻腐蚀问题、极化问题以及条波导制备等问题都具有特殊性,例如:有机硅膜与电光极化聚合物(DANS)波导膜粘附很好,但与无机材料表面粘附很差,因此,有机硅适合做上缓冲层材料而不能做下缓冲层材料.曾试用多种有机光学材料作为缓冲层,都因与电光波导材料互溶而放弃.因此,波导下缓冲层不得不采用射频磁控溅射 SiO_2 方法制备(溅射2000nm厚的 SiO_2 需要2h),但由于溅射时间过长,上缓冲层不能磁控溅射 SiO_2 方法制备.另外,直接金属掩模紫外光漂白技术是制备聚合物条形波导的简单而有效的技术,也是制备电光调制器的关键技术.与反应离子刻蚀(RIE)技术相比,条波导侧壁更加光滑,因此能有效降低波导光学损耗.由于聚合物波导薄膜的机械可加工性不够理想,光功率端面耦合输入输

出比较困难,器件性能测试结果不很出色,波导端面加工技术还有待进一步改善.

5 结论

本文以键合型DANS聚合物为电光波导材料,研究了M-Z型电光波导调制器的制备工艺.对五层介质电光波导各层之间的光学、化学以及微加工工艺的相互兼容性进行了深入研究,优化了极化DANS聚合物电光波导强度调制器的制备工艺,研制出工作波长为1300nm的Mach-Zehnder型电光波导强度调制器原型器件.实验测得器件半波电压约为10V,调制带宽约为1GHz.

参考文献

- 1 赵禹,马春生,张大明,等. 聚合物阵列波导光栅复用器关键技术的研究. 光子学报,2003,32(4):417~420
Zhao Y, Ma C S, Zhang D M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(4):417~420
- 2 张昊,江晓清,李鹰,等. S弯曲聚合物热光型可变衰减器的特性. 光子学报,2004,33(8):920~922
Zhang H, Jiang X Q, Li Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004,33(8):920~922
- 3 贾振红. 聚合物PMMA/DR1啁啾光栅耦合器的研究. 光子学报,2003,32(1):86~88
Jia Z H. *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(1):86~88
- 4 Shi Y, Zhang C, Zhang H, et al. Low (sub-1-volt) halfwave voltage polymeric electro-optic modulators achieved by controlling chromophore shape. *Science*, 2000,288(5463):119~122
- 5 杨晓红,杜云,石志文,吴荣汉. 半导体学报,2001,22(8):971~974
Yang X H, Du Y, Shi Z W, et al. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2001,22(8):971~974
- 6 杨建义,江晓清,王明华. 基于接触极化发的M-Z型聚合物电光调制器. 光电子·激光,2002,13(9):897~899
Yang J Y, Jiang X Q, Wang M H. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2002,13(9):897~899
- 7 高福斌,张平,金锋. 电光极化聚合物光波导参量测量与数据处理. 光子学报,1999,28(Z1):275~278
Gao F B, Zhang P, Jin F. *Acta Photonica Sinica*, 1999,29(Z1):275~278

Study on Mach-Zehnder Intensity Modulators of Poled DANS Polymer Electro-Optic Waveguides

Gao Fubin¹, Du Guotong¹, Zhang Ping², Xing Rubing²

¹ National Key Laboratory on Integrated Opto-electronics, Collage of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012

² Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033

Received date: 2005-02-22

Abstract The fabrication process of Mach-Zehnder modulators of poled polymer electro-optic waveguides has been developed. A DANS (4-dimethylamino-4'-nitro-stilbene) polymer was selected as the electro-optic waveguide material. It was formed of five layers that consist of an electro-optic waveguide layer, two buffer layers and two metal electrode layers. The compatible properties of optics, chemistry and micro machining process among the layers were studied deeply. The channel waveguide with glazed sidewall was fabricated by using the ultraviolet photobleaching process. Then, by using the corona-poling setup with a tungsten wire electrode, the films were poled so that the waveguide had electro-optic property. Finally, by optimizing the fabrication process, the model device of M-Z type electro-optic intensity modulators working at 1300 nm wavelength has been developed. The half-wave voltage and modulation bandwidth of the device are about 10 V and 1 GHz, respectively.

Keywords Corona-poling; DANS polymer; Ultraviolet photobleaching; Electro-optic waveguide; Intensity modulator



Gao Fubin was born in 1957. He received the B. S. degree from the Department of Semiconductor, Jilin University, China, in 1982. After that, he had been working at the Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences until he joined the State Key laboratory on Integrated Opto-electronics, College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, China, in 2002. His main interest includes integrated optical waveguide theory and devices and micro opto-mechanics devices.