

文章编号:1004-4213(2011)04-0569-4

# 键合型有机/无机杂化材料加载条形波导电光调制器

张峰, 李晓东, 谭震宇, 李涛, 陈长鸣, 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大学实验区, 长春 130012)

**摘 要:**相对于普通的有机/无机杂化材料,侧链键合型有机/无机杂化材料能提高生色团的掺杂浓度,避免出现结晶、相分离等现象,同时生色团极化有序性的弛豫因生色团运动受阻而降低,具有较高的热稳定性.本文采用溶胶凝胶法合成了一种性能优良、稳定的侧链键合型有机/无机杂化材料,并将这种材料应用于电光调制器的电光层,利用传统的半导体工艺,采用加载条形波导结构,成功制备了马赫-曾德尔(Mach-Zehnder, M-Z)型电光调制器.测试得到电光调制器在 1 550 nm 波长下 10 kHz 的响应信号,为键合型杂化材料应用于光电器件的进一步研究打下了基础.

**关键词:**有机/无机杂化材料;聚合物;加载条形;电光调制器

**中图分类号:** TN814

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20114004.0569

## 0 引言

高速电光调制器是大容量高速光通信系统中的关键部件<sup>[1]</sup>,其性能对于光通信系统的整体性能提升有重要的影响.制作电光调制器的材料主要分为无机材料和聚合物材料.相对于无机材料,聚合物材料具有工艺简单、介电常量低、响应速度快、电光系数高、成本较低、易于成膜等特点,因而成为当前的研究热点<sup>[2-3]</sup>.已有文献报导低半波电压、低插入损耗的极化聚合物电光波导调制器和半波电压低于 1 V 且高电光系数的有机无机杂化材料电光调制器<sup>[4-6]</sup>.

本文采用了一种侧链键合型分散橙烷氧基硅烷(DR19ASD)有机/无机杂化材料,其兼有有机材料和无机材料的优点,与常见的掺杂型杂化材料相比,能有效提高生色团的含量,不会出现结晶,相分离等现象,具有较高的热稳定性.利用自主合成的聚甲基丙烯酸甲酯-甲基丙烯酸环氧丙酯(Poly Methacrylate-Glycidyl Methacrylate (P(MMA-GMA)))材料做引导芯层,采用 PMMA 材料做上包层.在得到的 M-Z 型波导上制作了铝电极,经过高温电晕极化,测得器件在 10kHz 电信号下的响应.

## 1 材料的制备

运用溶胶-凝胶法制备了键合型有机/无机杂化材料,原料为分散橙(DR19),硅烷偶联剂(KH560),钛酸丁酯等,通过控制原料的配比和反应条件,制备了成膜特性良好的杂化材料.调节钛酸丁酯的含量,可以有效调节杂化材料薄膜的折射率.经测试,配制的杂化材料薄膜在 1 550 nm 波长下折射率变化范围为 1.46~1.70.样品经过旋涂、固化、高温电晕极化后,可得到表面光滑平整的均匀薄膜.利用简单反射法<sup>[7]</sup>测得,在 1 310 nm 波长下,DR19ASD 杂化材料的电光系数约为 20 pm/V.

与掺杂型杂化材料相比,这种键合型杂化材料具有以下优点:1)通过生色团与无机网络键联,增大材料中生色团含量,限制了生色团结晶,防止材料相分离;2)利用无机主体网络进一步抑制有机生色团极化松弛<sup>[8]</sup>,有效地提高了材料的非线性光学活性及热稳定性.

## 2 波导结构

由于键合杂化材料薄膜不易加工,设计了一种加载条形波导结构<sup>[9-10]</sup>.引导芯层尺寸为  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ ,

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 61077041、No. 60807029)、吉林省青年科研基金(No. 20100174)、吉林大学基本科研业务费专项资金项目(No. 200810028、No. 200905005)和集成光电子学国家重点联合实验室开放课题(No. IOSKL-KFKT-11)资助

**第一作者:**张峰(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为基于聚合物的电光调制器. Email: zhfzone@foxmail.com

**通讯作用:**陈长鸣(1981-),男,讲师,博士,主要研究方向为聚合物平面光波导器件. Email: chenchangming6@yahoo.com.cn

**收稿日期:**2010-08-30; **修回日期:**2010-11-01

电光材料层厚度为  $3\ \mu\text{m}$ , 通过调节折射率可以实现单模传输条件. 计算得到 TE 和 TM 偏振模式下的电光重叠积分因子均大于  $30\%$ <sup>[11]</sup>. 图 1(a) 给出了键合杂化材料薄膜加载 P(MMA-GMA) 波导结构图, 图 1(b) 给出了软件模拟得到的端面传输光场图. 由图 1(b) 可以看出, 由于 P(MMA-GMA) 折射率 ( $n=1.495@1\ 550\ \text{nm}$ ) 小于杂化材料层折射率, 光场强度主要集中于键合杂化材料层中, 可以较好地实现光束的限制.

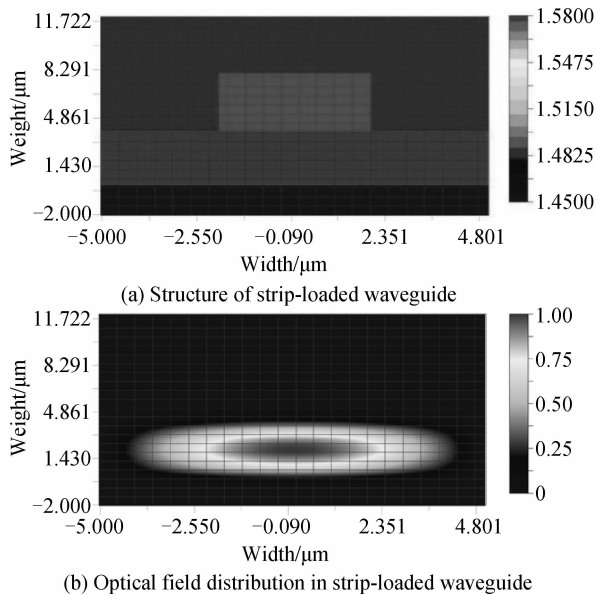


图 1 波导横截面光场模拟

Fig. 1 Optical field distribution simulation of the cross section of waveguide

### 3 器件的制备

选取生长一层  $\text{SiO}_2$  ( $2.2\ \mu\text{m}$ ) 的 Si 片做衬底, 在上面旋涂杂化材料层, 并  $90\ ^\circ\text{C}$  固化  $60\ \text{min}$ ; 再旋涂 P(MMA-GMA) 芯层,  $120\ ^\circ\text{C}$  固化  $2\ \text{h}$ ; 用真空蒸镀的方法蒸镀一层  $60\sim 80\ \text{nm}$  厚的铝膜, 旋涂 BP212 光刻胶, 固化, 光刻, 用湿法腐蚀的方法在铝膜上得到 M-Z 波导图形, 然后反应离子刻蚀, 形成加载条形的波导; 去除铝膜, 旋涂 PMMA 上包层并  $120\ ^\circ\text{C}$  固化  $2\ \text{h}$ ; 然后蒸镀一层铝, 旋涂 BP218 光刻胶并固化, 光刻, 湿法腐蚀出电极图形, 去除光刻胶<sup>[12-13]</sup>. 器件端面如图 2.

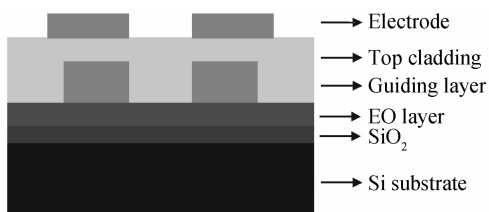


图 2 器件截面示意图

Fig. 2 Sketch map of the cross section of the device

反应离子刻蚀后波导的端面显微照片如图 3.

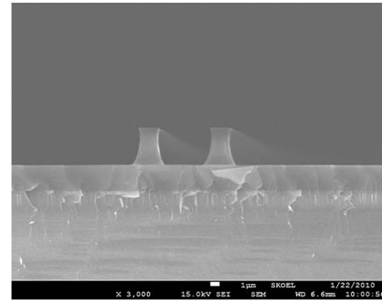


图 3 波导端面 SEM 照片

Fig. 3 SEM micrograph of the cross section of waveguide

由图 3 可以看出, 加载层波导与杂化材料层界面清晰可见, 波导尺寸符合设计要求, 略有侧蚀. 图 4 为制备完成的器件经过端面解理后的实物照片.



图 4 器件实物图

Fig. 4 Picture of the real fabricated device

### 4 器件的极化

采用线状电极高温电晕极化, 在  $200\ ^\circ\text{C}$  下加  $4.5\ \text{kV}$  电压极化  $20\ \text{min}$ .

极化装置示意图如图 5, 器件置于加热板上, 衬底底部为地电极, 线状电极平行于器件表面, 与器件间距约  $1\ \text{cm}$ , 线状电极与高压电源相连. 极化时, 线状电极在高温高压下使周围气体分子电离, 离子在器件表面积累并与地电极之间形成强电场使器件极化.

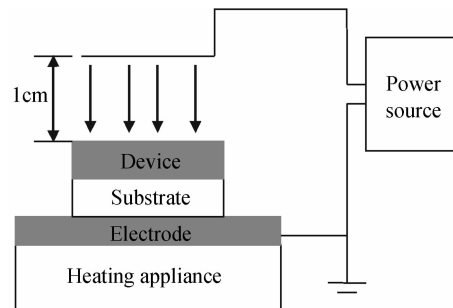


图 5 极化装置示意图

Fig. 5 Sketch map of the poling equipment

### 5 器件的测试

图 6 为  $1\ 550\ \text{nm}$  波长激光器  $0.48\ \text{mW}$  的输入光耦合入调制器后的近场光输出, 利用截断法测得器件损耗为  $9.5\ \text{dB}$ .

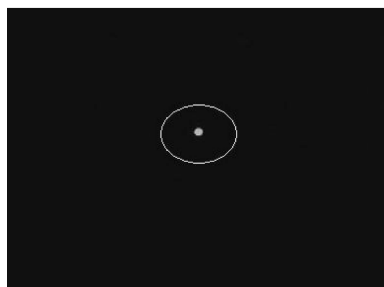


图 6 近场光输出  
Fig. 6 Near-field light output

测试系统:激光器(Santec TDS2012B)发出的 1 550 nm 波长的光经单模光纤(SMF-28)耦合入调制器的输入端,输出端耦合入光纤连接至光电探测器(Hamamatsu C2741),接入示波器(Tektronix TDS2012B)一个通道进行观测.信号发生器(SP 1642B)输出的交流信号通过微波探针加载在器件的 CPW 行波电极上,通过示波器的另一通道进行观测.图 7 为电光调制器在 10 kHz 正弦波信号下的调制响应曲线,图中曲线 1 为信号源曲线,曲线 2 为响应曲线.

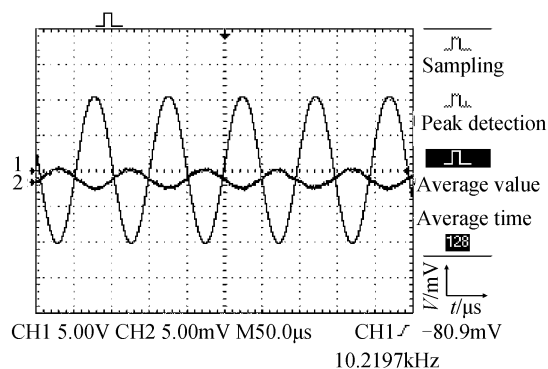


图 7 正弦电信号响应曲线  
Fig. 7 Response curve of the sine signal

## 6 结论

本文用溶胶-凝胶法制备了一种性能优良的侧链键合型有机/无机杂化材料,具有工艺简单,电光系数大,极化稳定性好等优点.采用加载条形波导,成功制作了基于键合杂化材料和 P(MMA-GMA) 引导层的 M-Z 型电光调制器,测得器件的损耗为 9.5 dB,初步获得了在 10 kHz 下的调制响应信号.由于极化和测试条件的限制,器件的调制响应频率较低,通过进一步改进材料的配置和器件制备工艺,改善极化和测试条件,有望使器件的响应频率指标得到大幅的提高.

## 参考文献

- [1] LEE S S, GARNER S M, CHUYANOV V, *et al.* Optical intensity modulator based on a novel electro-optic polymer incorporating a high  $\mu\beta$  chromophore[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2000, **36**(5): 527-532.
- [2] WANG Xiao-long, YU Jin-zhong. The latest progress of optical waveguide switch[J]. *Physics*, 2003, **32**(3): 165-170.  
王小龙,余金中.光波导开关的最新进展[J]. *物理*, 2003, **32**(3): 165-170.
- [3] MA H, JENA K Y, DALTON L R. Polymer-based optical waveguides: materials, processing, and devices[J]. *Advanced Materials*, 2002, **14**(19): 1339-1365.
- [4] de ROSE C T, HIMMELHUBER R, MATHINE D, *et al.* High  $\Delta n$  strip-loaded electro-optic polymer waveguide modulator with low insertion loss[J]. *Optics Express*, 2009, **17**(5): 3316-3321.
- [5] ENAMI Y, de ROSE C T, LOYCHIK C. Low half-wave voltage and high electro-optic effect in hybrid polymer/sol-gel waveguide modulators[J]. *Applied Physics Letters*, 2006, **89**(14): 143506-1-143506-3.
- [6] ENAMI Y, LUO J, PEYGHAMBARIAN N, *et al.* Hybrid cross-linkable polymer/sol-gel waveguide modulators with 0.65V half wave voltage at 1 550 nm[J]. *Applied Physics Letters*, 2007, **91**(9): 3505-3507.
- [7] SHI Wei, FANG Chang-shui. Simple reflection method for measuring the electro-optic coefficient of polymer film[J]. *Acta Physica Sinica*, 2000, **49**(2): 262-266.  
史伟,房昌水.简单反射法测量聚合物薄膜线性电光系数的研究[J]. *物理学报*, 2000, **49**(2): 262-266.
- [8] LEBEAU B, SANCHEZ C. Sol-gel derived hybrid inorganic-organic nanocomposites for optics[J]. *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 1999, **4**(1): 11-23.
- [9] 马春生,刘式墟.光波导模式理论[M].长春:吉林大学出版社,2006:198.
- [10] SUN Jie, ZHANG Da-ming, SUN Xiao-qiang, *et al.* Strip-loaded waveguide electro-optic modulator based on organic/inorganic hybrid material[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(2): 122-125.  
孙杰,张大明,孙小强等.基于有机/无机杂化材料的加载条形波导电光调制器[J]. *光子学报*, 2008, **37**(2): 122-125.
- [11] SUN Jie, CHEN Chang-ming, GAO Lei, *et al.* Polarisation-insensitive strip-loaded waveguide for electro-optic modulators and switches[J]. *Optics Communication*, 2009, **282**(11): 2255-2258.
- [12] SUN Xiao-qiang, GAO Wei-nan, SUN Jie, *et al.* Polymer  $2 \times 2$  directional coupler electro-optic switches[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(12): 3084-3087.  
孙小强,高伟男,孙杰等.聚合物  $2 \times 2$  定向耦合型电光开关[J]. *光子学报*, 2009, **38**(12): 3084-3087.
- [13] CHEN Chang-ming, YI Yun-ji, WANG Fei. Ultra-long compact optical polymeric array waveguide true-time-delay line devices[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2010, **46**(5): 754-761.

## Strip-loaded Waveguide Electro-optic Modulator Based on Bonded Organic-inorganic Hybrid Material

ZHANG Feng, LI Xiao-dong, TAN Zhen-yu, LI Tao, CHEN Chang-ming, ZHANG Da-ming

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

**Abstract:** Compared with common organic-inorganic materials, side chain bonded organic-inorganic material has better thermo-stability, and can avoid crystallization and phase separation. And the relaxation of ordered polarized chromophore is restricted as the movement of chromophore is blocked. A kind of stable, good-performance side chain bonded organic-inorganic material was compounded and applied as the electro-optic layer. Conventional semiconductor processing was applied to fabricate strip-loaded waveguide structure and the Mach-Zehnder(M-Z) electro-optic modulators were made. Response signal of 10 kHz was observed at 1 550 nm light source.

**Key words:** Bonded organic-inorganic hybrid material; Polymer; Strip-loaded waveguide; Electro-optic modulator