

## 用光漂白法制备聚合物薄膜光栅耦合器

贾振红

(新疆大学电子信息科学系,乌鲁木齐 830046)

**摘要:**从理论和实验上研究了用光漂白的方法实现 PMMA/DR1 聚合物周期性波导,并制备了光栅耦合器。由辐射模的辐射角的变化求出了由光漂白引起的波导有效折射率的变化,并确定了所制备的周期性波导几个辐射模式的出射角。

**关键词:**光漂白 PMMA/DR1 聚合物薄膜 周期性波导 光栅耦合器

## Fabrication of grating coupler on polymer PMMA/DR1 film by photobleaching

Jia Zhenhong

(Department of Electronics and Information Science, Xinjiang University, Urumqi 830046)

**Abstract:** The techniques of preparing PMMA /DR1 periodic waveguide on polymer film by photobleaching method have been studied in this paper. The grating coupler was realized in our experiment. The effective refractive index change was determined by measuring the direction change of the outcoupled beam during photobleaching.

**Key words:** photobleaching PMMA/DR1 polymer films periodic waveguide coupling grating

## 引言

近年来,共轭有机聚合物光学材料的研究发展迅速,主要是因为这类材料具有极大的非共振三阶非线性光学极化率和非常快的响应时间,以及易成薄膜的优点,可用于制备各类光电子波导器件,特别是全光信号处理器件。要实现有机聚合物薄膜光电子器件,制备技术至关重要。有许多方法可以制作波导器件,例如光漂白法,离子注入法以及激光烧蚀法等。其中光漂白法是一种较好的制备方法<sup>[1~3]</sup>,通过对曝光能量的调节,很容易控制聚合物薄膜折射率的变化,还避免了化学及热过程对器件的损伤,而且可同时制备多个低损耗的聚合物条型波导。由于用于制作平面结构聚合物波导的光漂白技术同现有的电子处理技术是兼容的,因而是一种最适合用于集成多层互联光电子器件的方法。在制备有机波导的聚合物中,具有主客体系的聚合物并不要求发色团对主体聚合物有化学吸附,而其它体系诸如侧链和主链聚合物等都

33 Meng H, Salamo G, Shih M *et al.* Opt Lett, 1997, 22(7): 448 ~ 450

34 Mamaev A V, Saffman M, Zozulya A A. J O S A (B), 1998, 15(7): 2079 ~ 2082

35 Krolkowski W, Luther-Davies B, Denz C *et al.* Opt Lett, 1998, 23(2): 97 ~ 99

\*

\*

\*

作者简介:侯春风,男,1970年4月出生。博士生。从事光折变非线性光学及量子光学的研究工作。

需要进行反应复杂的合成,故主客体体系制备成本低。这对于制造实用化的光波导器件来说非常重要。主客掺杂体系聚合物 PMMA/DR1(聚甲基丙烯酸甲酯/分散红1)材料具有较大的三阶非线性光学性质( $\chi^{(3)} \sim 10^{-11} \text{esu}$ )<sup>[4]</sup>。Feng W 等人用唯象的光漂白模型研究了这种材料的光漂白过程<sup>[5]</sup>。目前已实现了在这种薄膜上制备透镜和条形有机波导<sup>[1,6]</sup>。作者从理论和实验上研究了用光漂白的方法实现 PMMA/DR1 聚合物的周期性波导,并制备了光栅耦合器,研究了光漂白过程中波导辐射模的辐射角变化情况。

## 1 实验

### 1.1 样品制备

把有机染料分散红1掺杂于母体聚甲基丙烯酸甲酯粉末(PMMA)中,再溶解于甲苯溶液中。作为母体的PMMA透光性能好,转变温度( $T_g$ )为110℃,与DR1相容性很好,观察不到分离现象。将溶液进行过滤以去除其中的杂质和大分子颗粒,减小散射损耗,达到降低波导传输损耗的目的。然后将此溶液通过旋转涂布法制备在石英玻璃基底上,甲苯挥发慢,对样品溶解均匀,易于成膜,且膜面光滑。之后将样品放在100℃的烘箱内处理2h,形成薄膜平面波导样品,膜厚约为1.5μm。

### 1.2 周期性光栅制备

实验采用如图1所示的用双光束干涉法产生的周期性分布光场来制备光栅。设入射光与反射镜镜面夹角为 $\theta$ ,漂白光波长为 $\lambda$ ,则光束条纹(光栅)空间周期为:  $\Delta = \lambda / (2\sin\theta)$  (1)

薄膜通过折射率分布进行位相调制。实验采用 Ar<sup>+</sup> 激光器作为漂白光源,其输出波长为488nm,先经扩束后再入射样品。入射角约为11°,由(1)式知空间周期为1.3μm。由PMMA/DR1聚合物的吸收光谱<sup>[4]</sup>可知,在500nm附近有一吸收带,因此488nm的Ar<sup>+</sup>激光可被样品薄膜强烈吸收并产生光漂白。环境温度为100℃,高温有助于提高光漂白的速率。漂白后聚合物薄膜的折射率减小,文献[7]中的实验结果表明:光漂白过程实际就是薄膜内发生的光致氧化的过程,氧起着最重要的作用。因此,用低功率密度的漂白光对样品进行长时间的曝光,样品薄膜可得到充分的氧,因而PMMA/DR1薄膜能产生更大的折射率变化。对于 $\lambda = 1064\text{nm}$ 的光,最大的折射率变化可达0.05<sup>[6]</sup>,可以产生3%的折射率变化(PMMA/DR1聚合物的折射率为1.52)。根据光栅衍射实验可测得漂白区的最大厚度 $d$ ,即光栅沟槽深度约为0.56μm。设波导传输方向为 $x$ ,则样品漂白区厚度被幅度为 $d/2$ 的余弦函数调制:

$$h(x) = d \cos(2\pi x / \Lambda) / 2 \quad (2)$$

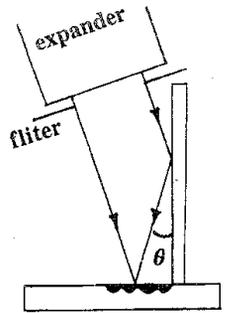


Fig. 1 Interferometer used for fabricating periodic grating

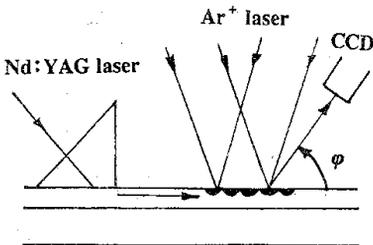


Fig. 2 Experiment setup used for grating coupling on PMMA/DR1 waveguide

### 1.3 光栅耦合器实验

如图2所示,在周期性波导制备过程中,将Nd:YAG激光器的1.064μm波长激光(脉冲宽度为10μs,单脉冲发射)通过棱镜耦合入波导中。导波经周期性波导(光栅耦合器)耦合成

辐射模,其辐射角为  $\varphi$ 。在  $\text{Ar}^+$  激光漂白 PMMA/DR1 薄膜形成周期性波导的过程中,  $\varphi$  值大小随时间发生变化。实验测出光栅的最大耦合效率  $P_{\text{out}}/P_0 = 0.02$  ( $P_{\text{out}}$  为从波导耦合出的辐射场功率,  $P_0$  为导波功率)。图 3 是在制备周期性波导的  $\text{Ar}^+$  激光强度在  $80\text{mW}/\text{cm}^2$  的情况下,波导辐射模出射角  $\varphi$  与漂白时间关系的实验结果。漂白所用时间为 12h。光漂白法制备周期性波导完成后,可测得该波导 3 个不同辐射场耦合模式的辐射角分别为  $47^\circ$ 、 $98^\circ$  和  $163^\circ$ 。

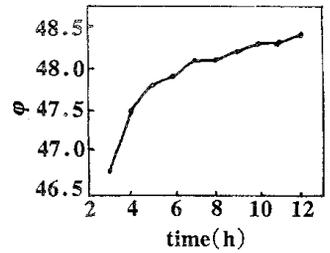


Fig.3 Dependence of the output coupling angle on different photobleaching time

## 2 讨 论

对于空间周期为  $\Lambda$  的周期性波导,耦合波须满足如下的位相匹配条件<sup>[8]</sup>:

$$\varphi = \cos^{-1}(n_{\text{eff}} - m\lambda/\Lambda) \quad (3)$$

式中,  $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ 。  $n_{\text{eff}}$  为波导导模的有效折射率。在光漂白过程中由于 PMMA/DR1 材料薄膜漂白区域折射率随漂白时间的增加而降低,由(3)式可知,耦合辐射角随漂白时间的增大而增大。对于图 3 中所示的漂白时间范围内,因光漂白引起波导有效折射率的变化可由上式求出,为  $\Delta n_{\text{eff}} \approx 0.02$ 。

对于薄膜的漂白区域,由于 PMMA/DR1 材料对漂白光有很强的吸收,在膜内不同深度处漂白光强度不同,加上薄膜内层的缺氧,所以,不同深度光致氧化反应程度不同,造成不同深度的折射率不一致。在表面处折射率变化最大,随着深度的增加,折射率变化迅速趋于零。这种折射率分布用数学进行精确描述是很困难的,我们只能用平均折射率来说明薄膜漂白后的折射率。用(2)式表示折射率分布是存在一定误差的。进一步的研究工作正在进行。

## 3 结束语

作者研究了用光漂白的方法实现 PMMA/DR1 聚合物的周期性波导,并制备了光栅耦合器。由辐射模的辐射角的变化求出了由光漂白引起的波导有效折射率的变化,并确定了所制备的周期性波导几个辐射模式的出射角。用光漂白方法制备薄膜光栅耦合器对今后光电子器件的低成本和集成化发展具有一定的意义。

### 参 考 文 献

- 1 Feng W, Lin S H, Hooker R B *et al.* Appl Opt, 1995, 34(30):6885 ~ 6891
- 2 李 勃, 陈英礼, 陈险峰 *et al.* 光学学报, 1995, 15(6):819 ~ 823
- 3 Nakanishi M, Sugihara O, Okamoto N *et al.* Appl Opt, 1998, 37(6):1068 ~ 1073
- 4 王威礼, 王德煌, 邓文勇 *et al.* 光学学报, 1995, 15(6):558 ~ 561
- 5 Ma J, Lin S H, Feng W *et al.* Appl Opt, 1995, 34(24):5352 ~ 5360
- 6 贾振红, 周 红, 吴树荣. 激光杂志, 1999, 20(1):38 ~ 42
- 7 贾振红, 周 红, 郭兆祥. 光子学报, 1998, 26(Z2):186 ~ 188
- 8 Peng S T, Tamir T, Bertoni H L. Electron Lett, 1973, 9(6):150 ~ 152

作者简介:贾振红,男,1964年2月生。博士,副教授。现主要从事非线性光学材料及光电子器件方面的研究工作。