

掺 MgO 的 LiNbO₃ 平面光波导的抗光损伤能力

许政权 程 宁*

(上海交通大学应用物理系)

提要: 报道了在质子注入波导中几乎观察不到光损伤。掺镁铌酸锂中质子交换波导的抗光损伤能力是不掺镁的二倍,是钛内扩散波导的8倍。

关键词: 光波导,光损伤,传输损耗

Optical damage resistance of planar waveguides in magnesium-doped lithium niobate

Xu Zhengquan, Cheng Ning

(Applied Physics Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai)

Abstract: It is reported that the optical damage was almost not observed in the proton implanted guides, and the damage resistance of proton exchanged guides in magnesium-doped lithium niobate is twice as large as that of undoped ones, and is at least 8 times that of the titanium-indiffused guides.

Key words: optical waveguide, optical damage, transmission loss

前 言

在高光功率的场合光致折变效应或光损伤使光波导的性能变坏。Bryan 等人报道掺 MgO 的 LiNbO₃ 晶体可以大大改善抗光损伤能力^[1,2], Digonnet 等人指出 MgO:LiNbO₃ 质子交换波导比不掺镁 LiNbO₃ 波导的光损伤阈值提高约一倍^[3]。Bulmer 研究了 MgO:LiNbO₃ 中 Ti 内扩散波导的特性,他用 SIMS 技术确定其中 Ti 具有 Gauss 分布,扩散系数和扩散深度比未掺镁者小^[4]。

本文研究的 MgO:LiNbO₃ 衬底掺 MgO6%, $\gamma=0.486$,由中科院上海硅酸盐所提供。用质子交换、质子注入和 Ti 内扩散方法分别制作了平面光波导,用棱镜耦合器测量模折射率并用折线近似方法^[5]计算了质子交换波导的折射率轮廓,用 SIMS 分析 Ti 内扩散波导中 Ti 的浓度分布,研究了以上三种波导的抗光损伤能力。为了对波导光损伤的研究,选用波长为 0.4416 μm 的大功率(90mW) He-Cd 激光器为光源,在相同的光功率水平下由波导能够承受的辐照时

收稿日期: 1988年9月19日。

* 现在是中科院上海硅酸盐所的硕士研究生。

间判断波导抗光损伤的能力。

实验表明,质子交换波导具有近似阶跃型的折射率分布,钛由扩散波导的折射率轮廓则为 Gauss 型。质子注入波导在本实验条件下几乎观察不到光损伤现象;质子交换波导的抗光损伤能力掺镁的比不掺镁的材料强一倍,比钛内扩散波导至少强八倍。

一、光损伤的测量方法

根据光损伤的特点,我们采用 m 线远场透射法^[5]来检测光损伤现象。实验装置如图 1 所示。在此装置中用二个耦合棱镜, P_1 和 P_2 。 P_1 是等腰棱镜, P_2 是直角棱镜。 He-Cd 激光器发出的激光束经斩波器和偏振片后入射到棱镜 P_1 , 反射光由光电二极管 D_1 接收; 透射光在棱镜底面上全反射并激励波导的 TE 模。 底面上的反射光折射透出棱镜, 由光电二极管 D_2 接收。 导波光经由输出棱镜 P_2 耦合到空间, 经柱面透镜会聚后投射到反射光阑上。 反射光阑是一块镀铝的反射镜, 上面有一条宽 $50 \mu\text{m}$ 的透光狭缝。 m 线的强度峰经狭缝透射, 由光电倍增管 M_1 接收; 其余部分反射后由光电倍增管 M_2 接收。 利用入射到棱镜 P_1 上的光强 I_0 , D_1 和 D_2 可以计算棱镜 P_1 的耦合效率 η , 从而得到波导内的光功率密度 P_i 。 M_1 接收的强度 T , 在波导出现光损伤时 T 明显下降; M_2 接收的强度 R 则相应增加。 因此利用比值 R/T 的变化可以灵敏地判断波导光损伤出现的时刻和损伤的程度。

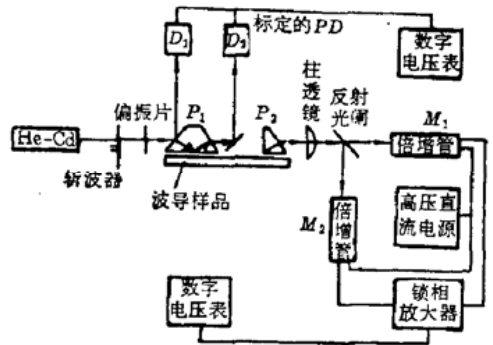


图 1 平面波导中光损伤测量装置示意图

二、实验过程与结果

2.1 波导制作

(1) 质子交换波导 实验装置如图 2 所示。把 LiNbO₃ 晶体切割成 $2 \times 7 \times 30 \text{ mm}$ 的 X 切片子, 依次浸在无水乙醇和丙酮中超声清洗 20 分钟, 烘干后与化学纯苯甲酸一起放入试管放进图 2 的交换炉中。电炉用 JWT-702 精密温度控制仪加热并控温在 246°C , 保温十分钟左右, 即可制得多模光波导 ($\lambda = 0.4416 \mu\text{m}$)。典型的数据是: 3# 样品, MgO:LiNbO₃, 交换 7 分钟, 观察到四个模, 有效折射率分别为 2.4224, 2.4023, 2.3726, 2.3329。5# 样品, LiNbO₃ 对照片, 交换 10 分钟, 观察到五个模, 有效折射率分别为 2.4213, 2.4034, 2.3726, 2.3329, 2.2848。在计算有效折射率时金红石耦合棱镜的折射率由色散关系

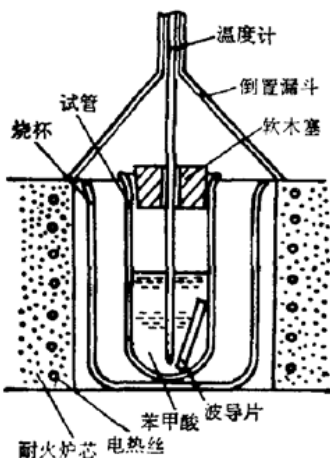


图 2 制作质子交换波导的实验装置示意图

($\lambda = 441.6 \text{ nm}$), $n_p^o = 3.193$ 。

$$n_p^o = \sqrt{7.197 + \frac{3.32 \times 10^7}{\lambda^2 - 0.873 \times 10^7}} \tag{1}$$

得到, 式中 λ 为工作波长, 以 nm 为单位。对于 He-Od 激光

(2) 钛内扩散波导 把洗净烘干的 LiNbO_3 片子放进高频溅射机, 在 5×10^{-2} Torr 氩氛中溅射一层 30 nm 厚的钛膜到衬底表面上。随后把晶片放在刚玉 (Al_2O_3) 坩埚中, 坩埚内已铺放化学计量的 LiNbO_3 粉末层, 坩埚在扩散炉中 1000°C 下恒温 6 小时。用这种闭管扩散方法可以制得抑制 Li_2O 外扩散的扩钛波导。改变钛层的厚度可以控制模数。30 nm 厚的钛膜, 可以得到 $\lambda = 0.4416 \mu\text{m}$ 工作波长的单模波导。

(3) 质子注入波导 把注入系统抽到优于 10^{-6} Torr 的真真空度, 通入 H_2 气, 使其电离并加速到 180 keV, 辐照 LiNbO_3 衬底, 注入剂量为 $5 \times 10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$ 。注入后的 LiNbO_3 片子外观呈棕褐色, 用棱镜耦合器观察不到导波现象。把注入样品在空气中加热到 340°C , 历时半小时样品转为透明, 并观察到 m 线, 得到的是单模波导。

2.2 波导的折射率轮廓

(1) 质子交换波导 实验得到的质子交换波导是多模的, 用棱镜耦合法可以测量各个模的有效折射率, 随后用折线近似法^[5]计算得到质子交换波导有近似阶跃型的折射率轮廓。折射率分布画在图 3 中。由此得到波导的有效厚度为 $d = 0.81 \mu\text{m}$ 。

(2) 钛内扩散波导 用 SIMS 分析了波导层内 Ti 浓度分布, 证实 Ti 浓度具有 Gauss 轮廓。根据波导折射率与 Ti 浓度有同样的轮廓的观点, 可以认为钛内扩散波导具有 Gauss 折射率轮廓。由模色散方程用迭代方法计算得到波导的有效厚度为 $d = 1.69 \mu\text{m}$ 。

(3) 质子注入波导 质子注入形成一个折射率减小的区域, 它在质子具有足够能量的条件下掩埋在表面层下, 使表面层形成波导。所以波导层的折射率基本上是阶跃型分布, 层的有效深度由注入工艺的经验数据约为 $0.7 \mu\text{m}$ 。有关工作尚在进一步深入研究, 其结果将另文发表。

2.3 波导抗光损伤实验

实验装置的示意图画在图 1 中。图 3 指出 R/T 随照射时间的变化曲线。4* 样品是 $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 衬底上的质子交换波导, 6* 样品是作为对照的 LiNbO_3 衬底上的质子交换波导。实验曲线可以看出, 4* 样品在 $0.4416 \mu\text{m}$ 激光连续工作 4 小时后出现损伤, 而 6* 样品则为 2 小时。由实验参数计算的光功率密度为 $472 \text{W}/\text{cm}^2$ 。钛内扩散波导在本装置上观察时,

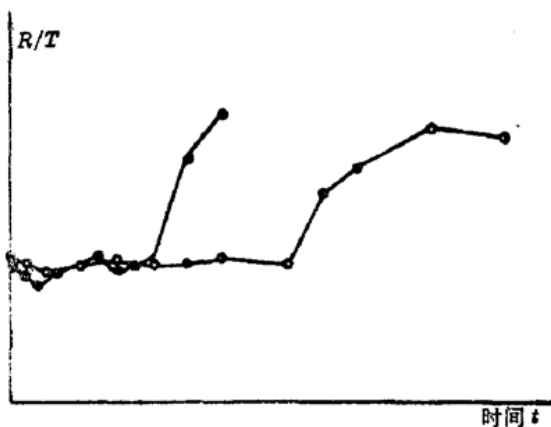


图3 R/T 随照射时间 t 的变化曲线

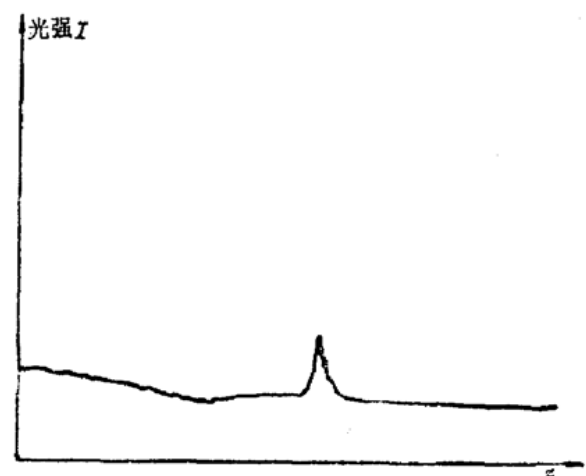
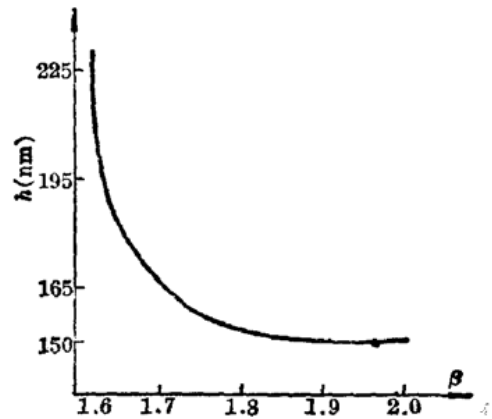
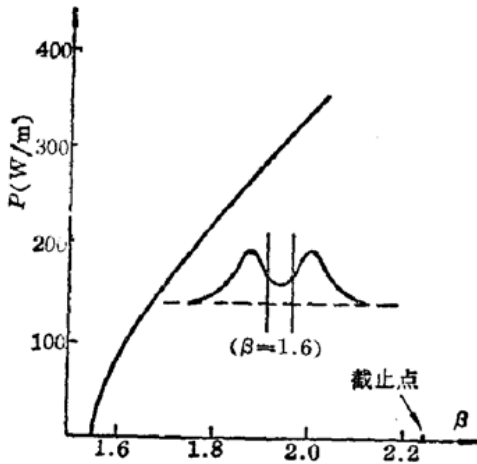


图4 $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 衬底钛内扩散波导(11*)照射 20 分钟后的 m 线强度分布

(下转第425页)

图 9 导波功率 P 与有效折射率 β 的关系图 10 关于图 9 中模峰值离界面距离 h 与 β 的关系

取 $n_c = n_s = 1.55$, $n_f = 1.53$, $n_{2c} = n_{2s} = 10^{-9} \text{m}^2/\text{W}$,
 $d = 0.25 \mu\text{m}$

$-10^{-9} \text{m}^2/\text{W}$, $n_c = n_s = 1.55$, $n_f = 1.53$, $d = 0.8 \mu\text{m}$ 和 $0.25 \mu\text{m}$ 。计算表明, 此结构下的对称场和非对称场在非线性介质内发散, 不构成导波。联想到线性介质构成薄膜波导的条件, 这是可以理解的。

参 考 文 献

- 1 C. T. Seaton *et al.*, *Opt. Eng.*, **24**, 339(1985)
- 2 W. R. Holland, *J. Opt. Soc. Am. B*, **3**(11), 1529(1986)
- 3 C. T. Seaton *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **21**(7), 774(1985)
- 4 H. Vach *et al.*, *Opt. Lett.*, **9**, 233(1984)
- 5 A. D. Boardman, *IEEE J. Quant. Electr.* **21**(10), 1701(1985)

(上接第 428 页)

LiNbO₃ 波导在调出 m 线时已经出现损伤, m 线极弱, 强度几乎均匀分布; MgO:LiNbO₃ 波导经 20 分钟照射后 m 线呈图 4 的形状, 说明已受到严重损伤。计算的光功率密度为 $228 \text{W}/\text{cm}^2$ 。质子注入波导中传输的光功率密度计算值为 $549 \text{W}/\text{cm}^2$, 工作七小时观察不到 R/T 有明显的变化。表明在这段时间内未发生光损伤。

实验结果表明, 对于质子交换波导和钛内扩散波导, 掺 MgO 材料与不掺 MgO 材料相比抗光损伤能力有明显的提高; 质子注入波导即使在不掺 MgO 材料中也有优异的抗光损伤能力, 这种波导制作方法具有诱人的发展前景和广泛的应用可能。

参 考 文 献

- 1 D. A. Bryan *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **44**, 847(1984)
- 2 D. A. Bryan *et al.*, *Optical Engineering*, **24**(1), 133(1985)
- 3 M. Digonnet *et al.*, *Opt Lett.* **10**(5), 235(1985)
- 4 C. N. Bulmer, *Electr. Lett.* **20**(22), 902(1984)
- 5 A. Ashkin *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **9**(1), 72(1966)
- 6 R. L. Holman *et al.*, *Ferroelectrics*, **27-28**, 85(1980)