

用 Gd_2O_3 做介质缓冲层制作 金属包覆光波导偏振器*

冯莹 季家榕

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

摘要 首次报道了采用 Gd_2O_3 薄膜作介质缓冲层制作金属包覆 $Ti: LiNbO_3$ 光波导偏振器。通过对理论模型的计算选取合适的介质缓冲层厚度,给出了理论计算和实验结果。测试结果表明,我们实际制作的 Gd_2O_3/Al 包覆 $Ti: LiNbO_3$ 偏振器的偏振消光比 $>35dB$ 。

关键词 光波导偏振器, 缓冲层, 金属包覆

分类号 O484.8

Metal Cladding Optical Waveguide Polarizer Using Gd_2O_3 As a Buffer Layer

Feng Ying Ji Jiarong

(Department of Applied Physics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The first published report of using Gd_2O_3 as a buffer layer to make integrated optical polarizers on $Ti: LiNbO_3$ is presented. The calculating and experimental results are given. The extinction ratio of polarizer $>35dB$.

Key words optical waveguide polarizer, buffer layer, metal cladding

在光纤通信和光纤传感器的多种应用中,都要求光波在光纤中以单一模式传播,这就需要光波导偏振器来选择单一线偏振的导波光束。研究制作高偏振消光比、低插入损耗、性能可靠的光波导偏振器是集成光学无源器件研究领域中的一个重要课题。有多种技术可以用来构造偏振器,其中采用在光波导上覆盖金属、介质层的方法是获得性能良好的偏振器件的途径之一。

对于金属、介质包覆 $Ti: LiNbO_3$ 光波导偏振器的研究报道已有不少^[1~5],这些研究从理论和实践上都已证明,光波导偏振器的偏振消光比除了与波导本身的参数有关外,还取决于介质缓冲层的折射率、厚度及金属包覆层的选取。本文首次报道了采用 Gd_2O_3 作

* “八五”重点预研资助项目
1996年2月23日收稿

为介质缓冲层制作 Gd_2O_3/Al 金属介质包覆 $Ti:LiNbO_3$ 光波导偏振器。参考理论计算的数据, 选取合适的介质缓冲层厚度, 获得了偏振消光比 $>35dB$ 的结果。

1 器件工作原理

在 $Ti:LiNbO_3$ 沟道波导上覆盖金属介质层可以近似用图 1 所示的五层平板波导结构模拟。根据波动方程, 多层平板波导中导模的场分布为^[6]

$$\begin{cases} \Psi_1 = A \exp(\gamma_1 x) \\ \vdots \\ \Psi_m = A_m \cos[\gamma_m(x - x_{m-1})] + B_m \sin[\gamma_m(x - x_{m-1})], \text{ 当 } n_c^2 < n_m^2 \\ \Psi_m = A_m \cosh[\gamma_m(x - x_{m-1})] + B_m \sinh[\gamma_m(x - x_{m-1})], \text{ 当 } n_c^2 > n_m^2 \\ \Psi_N = A_N \cosh[\gamma_N(x - x_{N-1})] + B_N \sinh[\gamma_N(x - x_{N-1})] \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} \gamma_m = k_0(n_m^2 - n_c^2)^{1/2}, \text{ 当 } n_c^2 < n_m^2 \\ \gamma_m = k_0(n_c^2 - n_m^2)^{1/2}, \text{ 当 } n_c^2 > n_m^2 \end{cases}$$

n_c 为波导的有效折射率, n_m 为第 m 层介质的折射率。当光在导波层中传播时, TM 导模可以在介质缓冲层和金属包覆层的交界面处激发等离子表面波 (见图 2), 这种 TM 偏振波在两介质交界面处有最大振幅, 它的传播常数和消光系数由金属和介质的复介电系数确定。当介质缓冲层的厚度为一有限厚度时, 波导中的 TM 导模将与金属、介质界面的等离子表面波发生谐振耦合、部分位于 Ti 扩散波导区域, 部分处于金属、介质界面, 这时的 TM 导模将被金属强烈吸收; 而 TE 导模由于不与等离子表面波发生耦合而不受此影响。光通过这种金属介质包覆结构后, 输出的光便成为单一偏振的导波光束, 这就是模吸收型光波导偏振器的起偏机制。

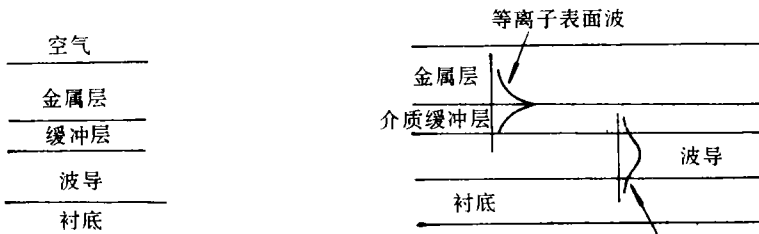


图 1 五层平板波导结构

图 2 五层平板波导支持的 TM 模和等离子表面波

显然, 当上述金属介质包覆多层波导处于导模与等离子表面波的强烈共振耦合状态时, 可获得较高的偏振消光比, 制作集成光学偏振器应据此来选择各项参数。由于设计偏振器时, $Ti:LiNbO_3$ 光波导的参数是作为已确定的参数来考虑的, 因而等离子表面波的共振吸收峰除受金属复介电系数的影响外, 还依赖于介质缓冲层的折射率及厚度的选取, 故金属与介质缓冲层的选取非常重要。 Gd_2O_3 是一种介质镀膜材料, 它性能稳定, 镀制重复性好。在波长为 $633nm$ 的条件下 Gd_2O_3 薄膜的折射率 $n=1.78$, 金属 Al 膜的光学参数因不同的镀制条件而异, 本文理论计算所用的光学参数取自文献[4]。利用方程式

(1)及电磁场的边界条件得到模式本征方程，从而计算出 Gd_2O_3/Al 包覆波导的 TE 模、TM 模的损耗系数对介质缓冲层厚度的变化关系，其结果示于图 3 和图 4 中。由图可以看出 TE 模的损耗系数不大于 2dB，而 TM 模存在一个明显的共振吸收峰，在共振吸收峰内选取 Gd_2O_3 的几何厚度，可使器件在理论上达到很高的偏振消光比。

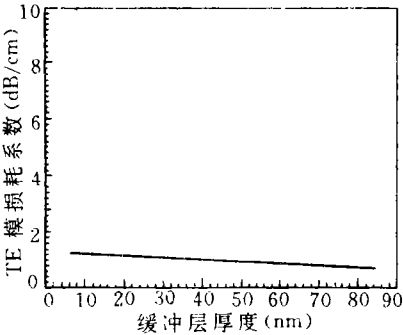


图 3 TE 模损耗系数与缓冲层厚度的关系曲线

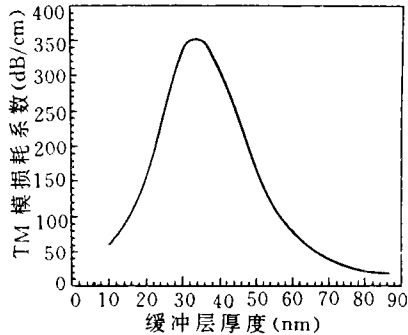


图 4 TM 模损耗系数与缓冲层厚度的关系曲线

2 实验结果与讨论

2.1 器件的制作

在 x 切 $LiNbO_3$ 衬底上用离子热蒸镀的方法蒸镀一层厚度为 65nm 的钛膜，通过光刻形成宽度为 $6\mu m$ 的钛条。在 1025 C 的温度下、湿氧氛围中扩散 7h，形成了 $1.3\mu m$ 的单模波导。为了便于波导与光纤及波导与透镜的对端耦合，要对波导进行端面抛光，之后用电子枪在波导表面蒸镀一层厚度为 35nm 的 Gd_2O_3 薄膜作为介质缓冲层，最后覆盖一层厚度为 200nm 的 Al 膜，采用湿法腐蚀控制 Al 的覆盖长度为 2mm，这样就制得了所需的光波导偏振器。

2.2 器件的检测

光波导偏振器的检测装置如图 5 所示，波长为 $1.3\mu m$ 的半导体激光和 He-Ne 激光

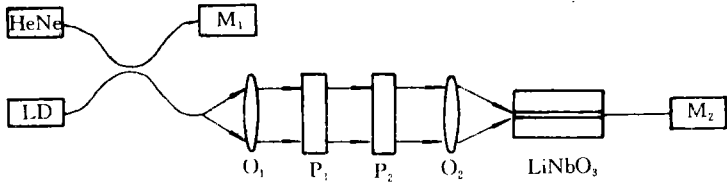


图 5 光波导偏振器检测装置

O_1, O_2 $\times 10$ 物镜
 M_1, M_2 光功率计
 P_1 Glan-Thompson 棱镜
 P_2 $1/2$ 波片

分别从 $1.3\mu m$ 单模光纤耦合器的两输入端输入，其中 He-Ne 激光是作为辅助光源接入，便于测试中对准和调整光路。耦合器的出口一端接光功率计用于对光功率进行监控，从另一出口射出的光经 $\times 10$ 物镜准直后由 Glan-Tompson 棱镜起偏得到一束线偏振光，再由 $\times 10$ 物镜聚焦耦合入光波导偏振器。输出一端将光耦合入 $1.3\mu m$ 单模光纤再

送至光功率计以检测输出功率, 旋转 $1/2$ 波片, 分别测出通光方向和消光方向的光功率。测量结果表明所制得的光波导偏振器的消光比优于 35dB, 光纤—波导—光纤插入损耗 < 4dB。

2.3 讨论

从器件的测试结果看, 实际所获得的波导偏振器的消光比要小于理论计算值, 其原因在于本文所用的理论计算模型只涉及到等离子表面波共振耦合这一因素, 实际上波导制作过程中因材料晶格缺陷、波导边缘不整齐等因素会引起的模式耦合、散射, 这些因素造成波导的额外损耗, 在理论计算模型中未能考虑进去。另外, 从图 4 中也可以看到, 等离子表面波的共振吸收峰对于介质缓冲层的厚度很敏感, 这就对实际镀制时的膜厚控制提出了较高的要求。

3 结束语

本文给出了 Gd_2O_3/Al 包覆 $Ti: LiNbO_3$ 波导偏振器的理论计算和实验结果, 得到了偏振消光比优于 35dB 的光波导偏振器。

本文的工作始终得到高伯龙教授的指导和关心, 在此深表感谢。对龙兴武副教授在镀膜工作中给予的帮助也表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Thyatarajan k, et al. Experimental Demonstration of TM Mode Attenuation Resonance in Planar Metal Clad Optical Waveguide. *Optics Letters*, 1985, 10(6): 288
- 2 STOCK G. Realisation of Integrated Optical Polariser For $Ti: LiNbO_3$ with Au, Al, Ti Metal Cladding. *Electronics Letters*, 1988, 24(14): 988
- 3 Eberhard D, Bulow H. Single Mode Channel Waveguide Polarizer on $LiNbO_3$. *Integrated Opticals*, 1985: 202
- 4 CTYROKY J, HENNING H J. Thin-Film Polariser For $Ti: LiNbO_3$ Waveguides At $\lambda=1.3\mu m$. *Electronics Letters*, 1986, 22(14): 756
- 5 Julian P, Bristow G. Integrated Optical Polarizers on Lithium Niobate for long Wavelengths. *Integrated Optical Circuit Engineering*, 1987, 835: 164
- 6 Adams M J. An Introduction to Optical Waveguides. Wiley, New York, 1981

(责任编辑 卢天贶)