

光纤与S型曲线过渡的条波导的耦合

杨文英

(长春邮电学院)

摘要: 本文说明了单模光纤与钛扩散铌酸锂 (Ti:LiNbO₃) 条波导的耦合与波导的制作参数有关, 我们制作了条宽 $W = 6\mu\text{m}$, 长 2.3cm (采用S型弯曲) 的钛膜厚度为 600\AA 、 750\AA 、 950\AA 、 1100\AA , 扩散温度为 1025°C , 恒温 9 小时的 Ti:LiNbO₃ 条波导, 并测得光纤—波导 (2.3cm)—光纤插入损耗在 950\AA (Ti) ($W = 6\mu\text{m}$, $T = 1025^\circ\text{C}$, $t = 9\text{h}$) 时为最小。

关键词: 光纤、波导、耦合、损耗。

一、引言

光波导器件通常需要波导弯曲, 在光路中相互作用波导的间隔需要扩大至允许输入, 输出耦合至光纤, 在光路中完成大的扩展, 并同时产生低的损耗。对于单模条波导采用S型曲线, 函数表达式为:

$$y(x) = \frac{L}{H}x - \frac{H}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x\right) \quad (1)$$

$H = 0.1\text{mm}$, $L = 3.25\text{mm}$, 如图 1 所示。该曲线具有连续的一阶和二阶导数, 实验结果表明 z 切 y 传的 Ti:LiNbO₃ 条波导在一定的参数条件下实现了宽为 $6\mu\text{m}$ 的单模 Ti:LiNbO₃ 条波导 ($\lambda = 1.33\mu\text{m}$) 的弯曲损耗值低至 $0.2 \pm 0.2\text{dB}^{[1]}$ 。

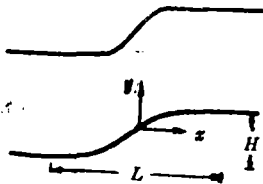


图1 S型曲线示意图

直波导经S形曲线过渡后, 它与单模光纤的耦合, 对于 Ti:LiNbO₃ 条波导结构的光开关、调制器, 滤波器应用于光通信系统具有十分重要的意义^[2], 欲实现光纤与波导的高效耦合, 首先应满足光纤和波导的模场分布的最佳匹配。Ti:LiNbO₃ 条波导可近似作为端面为矩形的波导, 其横向近场强度可用高斯分布表示, 纵向近场强度可用厄米—高斯分布表示^[3], 光纤中的基模场分布可用高斯分布表示, 而正确选择波导的条宽, Ti厚度、扩散温度和时间即可使波导的近场模分布与光纤模相匹配而达到最佳耦合。

如果光纤和波导间是理想对准, 则光纤—波导—光纤耦合的总插入损耗包括耦合损耗, 传输损耗和端面的反射损耗, 反射损耗可通过在光纤和波导端面加入适当的折射率匹配液减小, 耦合损耗中的光纤与波导的非理想的几何校准, 端面抛光的不完善可通过精密的装置和精细的抛光技术减小, 而模失配的损耗可选择最佳的波导参数使其减小, 由 R.C. Alferness 等人的实验报导^[4], 可知在模匹配条件下同时波导具有低的传输损耗。

L. Mocaughan 等人研制了条宽在 $1\text{--}10\mu\text{m}$ 范围内间隔为 $0.5\mu\text{m}$ 的多条直波导, 在 Ti

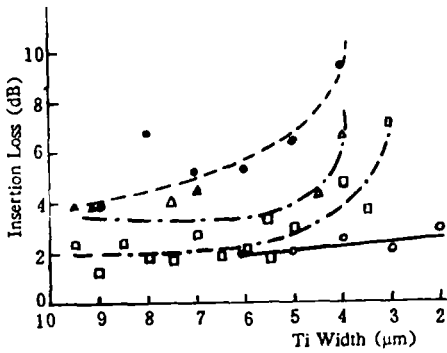


图2 光纤-波导-光纤插入损耗随条宽、钛膜厚、扩散条件的变化关系曲线
Mode: TE, $T = 1050^{\circ}\text{C}$, $t = 6\text{h}$
 $\tau = 745 \text{ \AA} (\bullet)$, $810 \text{ \AA} (\triangle)$, $950 \text{ \AA} (\square)$, $1100 \text{ \AA} (\circ)$

膜厚度分别为 600 \AA , 750 \AA , 950 \AA , 1100 \AA , 扩散温度在 1050°C , 恒温 6 小时的条件下制作的 Ti:LiNbO₃ 波导与单模光纤耦合, 测得总插入损耗随条宽变化的曲线^[3]如图 2, 可见在条宽为 $6 \mu\text{m}$, Ti 膜厚度为 950 \AA , 扩散温度为 1050°C , 6 小时条件下对 TE 模均具有最小的插入损耗。

二、理论分析

光纤和扩散条波导的耦合效率可由两者模场迭加的积分计算^[3]。

$$\eta = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1 \psi_2^* dx dy \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1 \psi_1^* dx dy \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_2 \psi_2^* dx dy} \quad (2)$$

式中 ψ_1 和 ψ_2 是两模的振幅函数。

Ti:LiNbO₃ 条波导其横向近场强度可用高斯分布表示, 纵向近场强度可用厄米-高斯分布表示, 光纤的模场可用高斯分布表示, 它们之间的耦合效率可由公式 (2) 计算, 单模光纤和条波导间的耦合系数由 (3) 式表示^[3]。

$$k = 0.93 \left[\frac{4}{(W_s/a + a/W_s)(W_s/a + a/W_s)} \right] \quad (3)$$

(3) 式中 a 是单模光纤高斯模的尺寸, W_s 和 W 分别为 Ti:LiNbO₃ 条波导横向和纵向模尺寸, 若令 $W = \sqrt{W_s W}$, 和 $\epsilon = W_s/W$, 则 (3) 式可写成仅由 W/a 和 ϵ 表示的简单形式:

$$k = 0.93 \left\{ \frac{4 (W/a)^2}{[(W/a)^2 + \epsilon][(W/a)^2 + 1/\epsilon]} \right\} \quad (4)$$

由 (4) 式可知, 最佳耦合条件是 $W = a$, $\frac{W_s}{W} = 1$ 即光纤和波导耦合时模尺寸的匹配是十分重要的, 而对于不同宽度的条波导选择不同的 Ti 厚度和扩散参数, 即可获得不同的模尺寸^[3], 因而单模光纤与条波导的耦合效率与波导的尺寸, Ti 厚度, 扩散温度和时间等参数有关。

以 $W = a = 1$, $\epsilon = 1.5$ 代入 (3) 式, 可算得单模光纤和直条波导耦合耗损的理论值为每端面 0.5dB 。此时光纤-波导-光纤耦合的总插入损耗即可达到最小值。

三、实验结果

由 L. Mocaughan 等人的实验报导见图 2, 可知在条宽为 $6 \mu\text{m}$, Ti 厚为 950 \AA , 扩散温度为 1050°C , 恒温 6 小时条件下研制的 Ti:LiNbO₃ 条波导与单模光纤耦合 ($\lambda = 1.33 \mu\text{m}$) 时插入损耗最小。

为满足由条波导组成的集成光学型器件实际应用的需要, 减小光纤和波导的插入损耗, 我

们在z切LiNbO₃衬底上研制条宽为6μm,沿y方向传输,采用(1)式正弦曲线过渡至直区,总长度为2.3cm的Ti:LiNbO₃波导,见图3。采用计算机辅助设计(CAD)技术,电子束曝光系统(EBES)制成步长为0.5μm的掩膜版^[5]。光刻采用美国产正性光刻胶,经前烘,

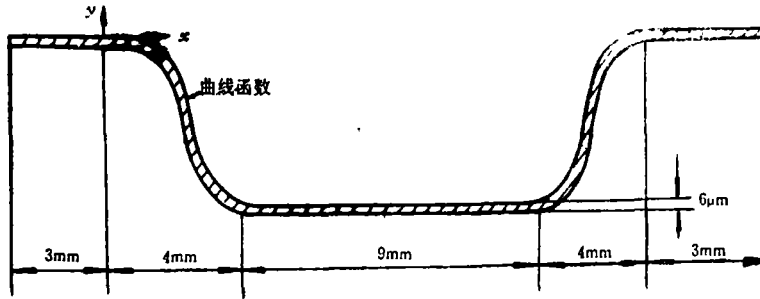


图3 采用S型曲线过渡波导尺寸

$$y = \frac{H}{L}x + \frac{H}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x\right)$$

$$H = 100\mu\text{m}$$

$$L = 4\text{mm} \text{ (步长 } 0.5\mu\text{m)}$$

曝光、显影成功地刻出条长为2.3cm的图形,如图3所示,在一定条件下进行高频溅射Ti膜,用丙酮去胶后,用英国产精度为5 Å Talystep 阶梯厚度测试仪测得Ti膜厚度分别为600 Å, 750 Å, 950 Å, 1100 Å, 见图4实测曲线。

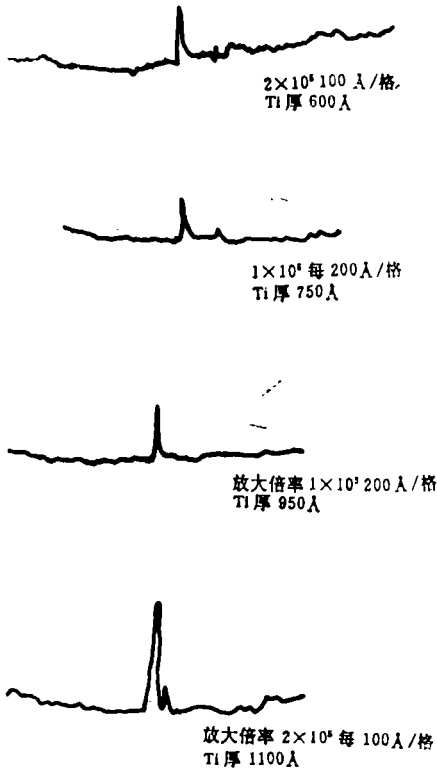


图4 Ti膜厚度测试图

将上述不同Ti膜厚度的样品,放入白刚玉舟内,在自动控温扩散炉内进行扩散,扩散温度为1025℃,通入80℃的氩气,恒温9小时,在冷却时通入湿氧气,以抑制Li₂O的外扩散^[6]。

将扩散后的样品经良好的端面抛光处理后,与端面处理好的单模光纤进行耦合实验(λ=1.33μm),采用水为折射率匹配液,测得Ti膜厚为600 Å, 750 Å, 950 Å, 1100 Å的Ti:LiNbO₃条波导与单模光纤的插入损耗分别为, 10dB, 8dB, 7dB, 和6dB,

四、结束语

欲实现高效率的光纤与波导的耦合,减小光纤-波导-光纤的插入损耗,使光纤与波导的模场分布达到最佳匹配是十分重要的,它可通过控制条波导的宽度,钛膜的厚度,扩散温度和时间等波导制作参数及工艺,使光纤和波导的模尺寸达到吻合,且同时可减小波导的传输损耗(弯曲波导损耗的减小可通过不同函数形式的过渡实现),使光纤-波导-光纤的插入损

耗降至最小。

实验说明在 $\lambda = 1.33\mu\text{m}$, 条宽为 $6\mu\text{m}$, Ti膜厚度为 950\AA , 扩散温度为 1025°C , 恒温 9 小时, 较其它Ti膜厚度 (其它制作参数相同), 的Ti:LiNbO₃条波导和光纤连接的插入损耗为最小。若进一步完善和改进光纤与波导的对准装置和方法, 预计可使插入损耗值下降, 满足单模光纤和Ti:LiNbO₃波导器件的低耗耦合要求, 使铌酸锂器件应用于光纤通信系统。

参 考 文 献

- [1] William J. Minford et al., IEEE J. of Quantum Electronics, 1982, Vol. QE-18 No.10, 1802-1806
- [2] R. C. Alferness, IEEE J. Quantum Electron., 1981, Vol. QE-17, 946-959
- [3] Legn Mcaughan and Edmond J. Murphy, IEEE J. of Quantum Electronics, 1983, Vol. QE-19, No. 2, 131-135
- [4] R. C. Alferness, V. R. Ramaswamy, IEEE J. of Quantum Electronics, 1982, Vol. QE-18 No. 10, 1807-1812
- [5] H. I. Smith, IEEE, 1974. 62, 1361
- [6] 陈益新等译, 《集成光学理论和技术》, 上海交通大学出版社, 1985, 33-34

Coupling of Fiber-associated with an S-shaped Transition Strip Waveguide

Yang Wenying

Abstract

This paper describes the influence of fabrication parameters on fiber-Ti:LiNbO₃ waveguide. We fabricated Ti-diffusion waveguide with $6\mu\text{m}$ wide strip (associated with an S-shaped transition), and 600\AA , 750\AA , 950\AA , 1100\AA thicknesses at 1025°C for 9 hour constant temperature. We have measured fiber-waveguide (2.3cm) -fiber insertion loss, showing that at $\lambda = 1.33\mu\text{m}$ and 950\AA thick with $6\mu\text{m}$ wide strip of Ti at 1025°C for 9 hour constant temperature the loss is minimum.

Key words, Optical Fiber, Waveguide Coupling, Loss.