

测量 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道光 波导的侧扩散系数

张志舜 姜锦秀 张迪扬 王淑荣

(中国科学院长春物理所)

提要: 本文用扫描电镜电子探针测量了 Y 切平行于 X 方向的 9 微米宽 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道在 Z 方向上 Ti 离子的分布。计算了侧扩散系数, 并观察到用稀 HF 酸 (体积比 $\approx 1:200$) 处理样品 (浸泡, 擦洗) 前后的沟道表面隆起。

Measurement of lateral diffusion coefficient for Ti: LiNbO₃ channel waveguide

Zhang Zhishun, Jiang Jinxiu, Zhang Diyang, Wang Shurong

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: Scanning electron microscope has been used to observe Ti diffusion parallel to Z direction of the sample surface out of a narrow strip which corresponds to 9 μm wide channel waveguide on Y cut LiNbO₃ substrate. From these measurements lateral diffusion coefficient was calculated and the swelling of channel at the surface was also observed.

集成光学中, 被广泛研究过的用 Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导所制的器件有调制器和开关^[1,2]。在解决这些器件的实际应用中, 单模扩散光波导和单模光纤之间耦合问题, 是必须解决的重要而困难的问题。为了减少耦合损耗, 必须控制波导制作条件, 使二者光场尽量匹配。

M. FuKuma^[3] 和 W. K. Burns^[4,6] 等人都报导了 Ti 在 LiNbO₃ 的各向异性扩散过程中, 测量到增强的侧扩散系数。M. FuKuma 等人^[3,5] 还研究了侧扩散对光纤和波导耦合损耗的影响。

我们用日本 HHS-2X 型扫描电镜的电子探针测量了 Y 切平行于 X 方向的 9 微米

宽 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道在 Z 方向上 Ti 离子的分布, 计算了侧扩散系数, 观察到用稀 HF 酸 (体积比 $\approx 1:200$) 处理样品前后的沟道表面隆起。

一、实 验

1. 样品制备

把抛光好的 Y 切 LiNbO₃ 片子在丙酮中浸泡去油。经光刻、溅射在平行于 X 方向做厚 $\sim 500\text{\AA}$ 、宽 9 微米和 100 微米的 Ti 金属条, 经去胶清洗后于 1000°C 下闭管补 Li 扩散 5 小时^[7] (不包括升、降温时间), 扩散后

收稿日期: 1981 年 10 月 5 日。

片子表面蒸 Au 待测量。

为了研究沟道光波导的表面，我们用稀 HF 酸(体积比 $\approx 1:200$)处理了扩散后样品(浸泡，擦洗)，以除去表面可能的残留物(Ti 或其氧化物)，并分别用扫描电镜和日本 Olympus MI 型干涉显微镜观察了处理前后的样品表面形貌。

2. 测试

如图 1 所示，用扫描电镜让电子束在 Z 方向上作横跨 9 微米、100 微米沟道的扫描。扩散的 Ti 离子被细电子束激发，所产生的特征 X 射线强度比例于它的浓度，用 LiF 晶体衍射来探测 Ti $K_{\alpha 1}$ X 射线强度。

测试条件是电子束加速电压为 20 千伏，束流为 2×10^{-8} 安^[3]。

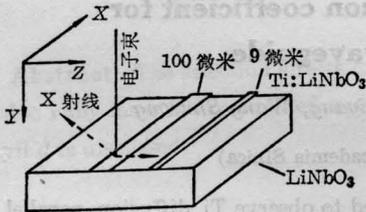


图 1 用电子探针测量 Ti 离子在 Z 方向上的分布

二、实验结果

测量了二组共四个样品的 Ti 离子在 Z 方向上的分布，分别计算出侧扩散系数 \mathcal{D}_z

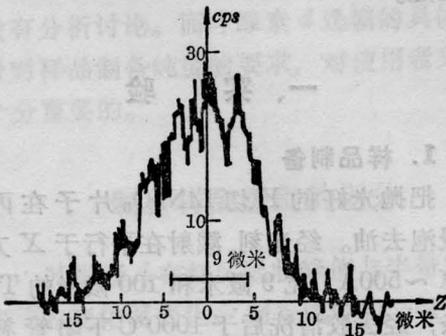
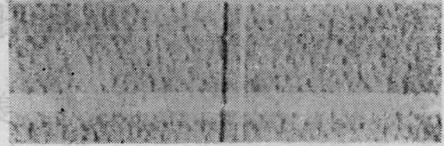


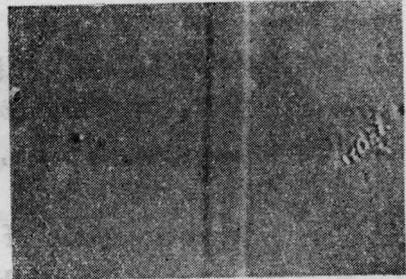
图 2 9 微米宽 Ti 金属条 1000°C、5 小时闭管补 Li 扩散后 Ti 离子在 Z 方向上的分布

值。图 2 为 9 微米宽 Ti 金属条经 1000°C、5 小时扩散后 Ti 离子在 Z 方向上的分布。

图 3、图 4 分别为 9 微米、100 微米样品在用稀 HF 酸处理前后扫描电镜的二次电子像照片。

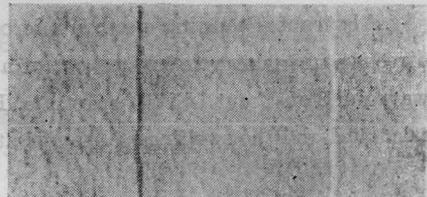


(a) $\times 225$

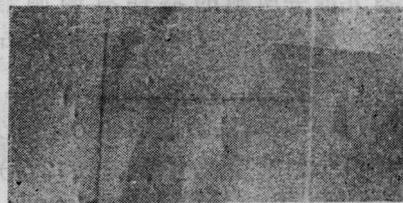


(b) $\times 450$

图 3 9 微米宽 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道用稀 HF 酸处理(浸泡、擦洗)前(a)后(b)的二次电子像



(a) $\times 225$



(b) $\times 225$

图 4 100 微米宽 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道用稀 HF 酸处理(浸泡、擦洗)前(a)后(b)的二次电子像

三、数据处理

一个薄的长条扩散源，在各向同性介质

表1 测量数据与国外比较

项目	本实验样品				M. FuKuma		W. K. Burns	
	I 组		II 组		1980 年	1978 年	1979 年	1976 年
	A	B	A	B	[3]	[5]	[4]	[6]
\mathcal{D}_Z (厘米 ² /秒)	1.19×10^{-11}	1.54×10^{-11}	2.19×10^{-11}	1.57×10^{-11}	$\sim 2.8 \times 10^{-11}$	1.1×10^{-11}	5×10^{-12}	0.93×10^{-11}
样品及处 理条件	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散 (a)	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散	Y 切 1000°C 扩散 (b)

注 (1) (a), (b) 为根据原文数据计算值

(2) 本实验每一样品为三次测量平均结果

中扩散时间足够长时其浓度分布如下^[4]:

$$C(Z, Y) = C_0 g\left(\frac{2Z}{W}\right) f\left(\frac{Y}{D_Y}\right) \quad (1)$$

此处

$$g\left(\frac{2Z}{W}\right) = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\left(\frac{W}{2D_Z} \right) \left(1 + \frac{2Z}{W} \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\left(\frac{W}{2D_Z} \right) \left(1 - \frac{2Z}{W} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$f\left(\frac{Y}{D_Y}\right) = \exp\left(-\frac{Y}{D_Y}\right)^2 \quad (3)$$

$$D_Y = 2(\mathcal{D}_Y t)^{1/2} \quad D_Z = 2(\mathcal{D}_Z t)^{1/2}$$

当 $\mathcal{D}_Y \neq \mathcal{D}_Z$, 为二维各向异性扩散。

D_Y, D_Z 与 $\mathcal{D}_Y, \mathcal{D}_Z$ 分别为在 Y 和 Z 方向的扩散长度和扩散系数, 此处和 LiNbO₃ 衬底切片二个主轴一致, W 为扩散前条纹。

扩散后浓度在 Z 方向上分布的峰高由下式决定:

$$g(0) = \operatorname{erf}\left(\frac{W}{2D_Z}\right) \quad (4)$$

按 W. K. Burns 方法^[4] 计算出 9 微米沟道对 100 微米的平均归一化峰高 $g(0)$, 代入方程(4)分别算出每一个样品的 \mathcal{D}_Z 值。

表 1 为本实验所得数据与国外的比较。

四、结论与讨论

按本文所述实验步骤, 可方便地用扫描电镜电子探针测量 Ti 扩散 LiNbO₃ 沟道光波导的侧扩散系数。

从图 3、图 4 和对用干涉显微镜所得样品表面干涉条纹偏移方向分析的结果表明, Ti 扩散进入 LiNbO₃ 衬底后 (~500 Å, 1000°C, 5 小时), 会在衬底表面留下隆起痕迹, 此痕迹可能并非是残留的 Ti 或其氧化物, 而是由于晶格结构变化所致。

于荣金同志对本工作给予支持, 刘乃康、郑建和二同志曾参加部分工作, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] M. Papuchon et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**, 289.
- [2] R. V. Schmidt; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**, 503.
- [3] M. FuKuma; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 591.
- [4] G. B. HocRer, W. K. Burns; *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**, No. 10, 6175.
- [5] M. FuKuma; *J. Appl. Phys.*, 1978, **49**, No. 7, 3693.
- [6] W. K. Burns; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**, 790.
- [7] 李玉善等;《科学通报》, 1980, **15**, 685.