

Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导的喇曼散射

石 邦 任

(中国科学院长春物理研究所)

提 要

本文报道 Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导中四种直角配置的喇曼散射光谱。实验中,我们观测到了在这些配置下异常的喇曼光谱现象。这一现象可归结为光波导中入射光 TE/TM 模式的变换行为。

关键词: 光波导喇曼散射。

一、引 言

Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导是集成光学器件中实用性很强的元材料。光波导中的喇曼散射光谱是研究薄膜性质和内部结构及分析晶格振动的重要手段^[1]。本文利用集成光学导波耦合技术作为光激发膜层的手段,给出了 Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导的喇曼光谱,并用以进行膜结构的分析。

二、实验与结果

室温条件下 LiNbO₃ 晶体是铁电晶体,结构属于三角晶系,点群为 $3m$ 。在每个初基晶胞中包含两个分子,共 10 个原子,总共有 30 个振动自由度。除 3 个声学支外,还有 27 个光学支。根据群论分析^[2],在 Γ 点光学振动模的对称分类为

$$4A_1 + 5A_2 + 9E,$$

其中 A_1 模和 E 模既是喇曼活性的又是红外活性的。而 A_2 模是非喇曼活性和非红外活性的。 A_1 模和 A_2 模是非简并的, E 模为二度简并的。

在我们采用 $x(zz)y$ 配置时,应当观测到全部 $A_1(\text{TO})$ 模。对于 $x(yz)y$ 、 $x(zx)y$ 、 $x(yx)y$ 配置;应当观测到 $E(\text{TO}) + E(\text{LO})$ 模。

散射光谱的测量是用 T-800 型激光喇曼谱仪。入射光用 4880 Å Ar⁺ 激光,输出功率约 400 mW,仪器分辨率 0.25 cm^{-1} ,波长精度 $\pm 0.2 \text{ cm}^{-1}$ 。

样品分两组:一组是 y 切抛光 LiNbO₃ 晶体,尺寸为 $x:y:z=25:2:20 \text{ mm}$ 。另一组是 y 切 Ti 扩散 LiNbO₃ 双模光波导,尺寸为 $x:y:z=25:2:20 \text{ mm}$,波导损耗约 1 dB/cm,波导深度约 $2.5 \mu\text{m}$ 。

我们测量了 LiNbO₃ 晶体样品在四种直角几何配置下的喇曼散射光谱。 $x(zz)y$ 配置测得了 $A_1(\text{TO})$ 模,如图 1(a) 所示。 $x(yz)y$ 、 $x(zx)y$ 和 $x(yx)y$ 配置测得了 $E(\text{TO}) + E(\text{LO})$ 模,如图 1(b)~(d)。对 Ti 扩散 LiNbO₃ 光波导样,用棱镜耦合引入激发光,同样进行了四种直角几何配置的喇曼光谱测量,如图 1 所示。

收稿日期: 1985 年 8 月 14 日; 收到修改稿日期: 1986 年 7 月 14 日

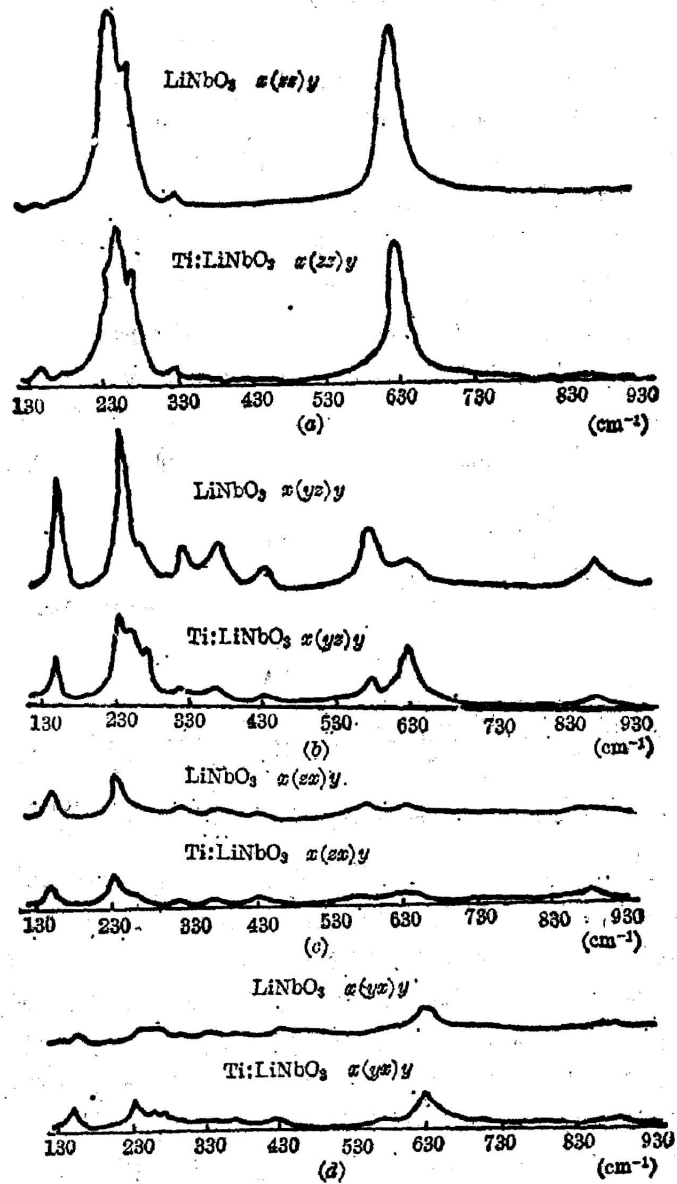


Fig. 1 Raman scattering spectra of LiNbO₃ crystal and Ti-diffused LiNbO₃ waveguide with scattering geometry of four kind (optical power 400 mW)

三、讨 论

对比 LiNbO₃ 光波导样品和 LiNbO₃ 晶体样品在四种直角配置下的喇曼谱如图 1 所示, 可以明显地看出光波导样品异常的喇曼光谱现象。现以 $x(zx)y$ 和 $x(yz)y$ 配置为例, 讨论这种异常现象。

我们知道, 在 $x(zx)y$ 配置下, LiNbO₃ 晶体应当观测到 $A_1(TO)$ 模。 $x(yz)y$ 、 $x(zx)y$ 、

$x(yx)y$ 配置下, 应当观测到 $E(\text{TO}) + E(\text{LO})$ 模。所以光波导样品, 在 $x(zz)y$ 、 $x(yz)y$ 配置下, 分别应观测到 $A_1(\text{TO})$ 模和 E 模。由光波导谱图 1(a) 可见, 在 $x(zz)y$ 配置下, 主要出现 $A_1(\text{TO})$ 模, 并包含有较弱的 E 模的特征。出现 152 cm^{-1} 、 322 cm^{-1} 、 368 cm^{-1} 、 428 cm^{-1} 、 578 cm^{-1} 和 878 cm^{-1} 峰, 保留有 238 cm^{-1} 峰痕迹, 以及 630 cm^{-1} 峰的迭加。在 $x(yz)y$ 配置下, 主要出现 E 模, 并保留有 $A_1(\text{TO})$ 模的特征。在光波导谱 1(b) 中出现 250 cm^{-1} 和 270 cm^{-1} 峰, 以及明显的 630 cm^{-1} 的迭加峰。

注意到上面所讨论的两种配制下的喇曼谱特征, 随入射激光功率加大则更加明显, 如图 2 所示。此时两张谱图表征出明显的相似性。这正是说明, 在 $x(zz)y$ 配置下, Ti 扩散 LiNbO_3 光波导喇曼光谱特征是纯 LiNbO_3 晶体 $x(zz)y$ 和 $x(yz)y$ 两种配置光谱的迭加, 亦是 $A_1(\text{TO})$ 模和 E 模的混合, 如图 3(a) 所示。同样, 在 $x(yz)y$ 配置下, 光波导喇曼光谱特征是纯 LiNbO_3 晶体 $x(yz)y$ 和 $x(zz)y$ 两种配置光谱的迭加, 亦是 E 模和 $A_1(\text{TO})$ 模的混合, 如图 3(b) 所示。同样, 光波导样品在 $x(zz)y$ 和 $x(yz)y$ 两种配置下的谱图表征出相似性。

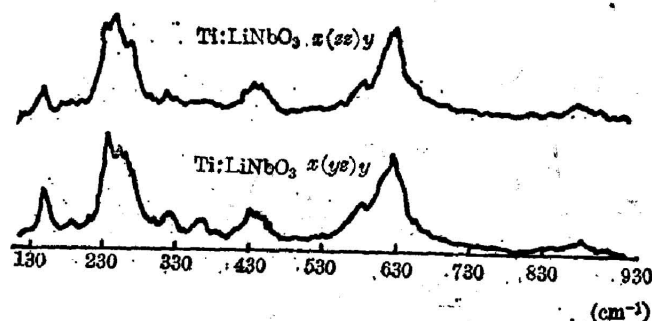


Fig. 2 Raman scattering spectra of Ti-diffused LiNbO_3 waveguide using high power (800 mW)

从以上光波导喇曼谱异常分析表明: 在 $x(zz)y$ 配置下, x 方向入射光, 混有两种偏振态成份, 不但包含原有 x 偏振, 还含有 y 偏振。这表明原配置 $x(zz)y$, x 入射 x 偏振光, 在波导介质中发生了不完全的模式变换, $\text{TE} \rightarrow \text{TM}$ 模; 原配置 $x(yz)y$ 入射光, 在波导介质中发生了模式变换, $\text{TM} \rightarrow \text{TE}$ 模。同理可以讨论, 光波导样品在 $x(zz)y$ 和 $x(yz)y$ 两种配置下, 所发生的 TE/TM 模式变换。按照这个观点, 可以解释文献[3]的实验结果。

那么产生上述入射光 TE/TM 模式变换的原因是什么呢? 这可归结为由于光波导介质折射率的变化而引起入射光模式的变换^[4~6]。模式变换可能是一个复杂的综合过程, 它涉及扩散应变由弹光效应引起的折射率变化、通过晶体压电性由电光效应引起的折射率变化、以及入射激光了光致折射率效应引起的折射率变化。而后者的贡献可能是主导的。这个综合过程, 在光波导中产生有效电场和应变场, 并通过电光系数 γ_{43} 和弹光常数 ρ_{44} 的贡献, 引起非对角元折射率的变化, 造成入射光 TE/TM 模式变换。由此可见, 喇曼散射光谱也提供了一种观测波导模式变换的方法。

最后, 由谱图 1 可见, 光波导样品喇曼谱与 LiNbO_3 晶体样品喇曼谱并没有本质的差别。 $A_1(\text{TO})$ 模和 $E(\text{TO})$ 模的谱线数目、线型和频率基本不变。由文献[7]可认定 Ti^{4+} 离子扩散进入 LiNbO_3 晶体, 取代 Nb^{5+} 离子, 所以 Ti 扩散 LiNbO_3 光波导是置换式固溶体。由于光波导是置换式结构, 这样 Ti^{4+} 扩散后并不引起 LiNbO_3 晶体对称性的改变, 这是实验上未引起 $A_1(\text{TO})$ 模和 $E(\text{TO})$ 模光谱明显变化的原因。反之, 这也反映了 Ti 扩散 LiNbO_3

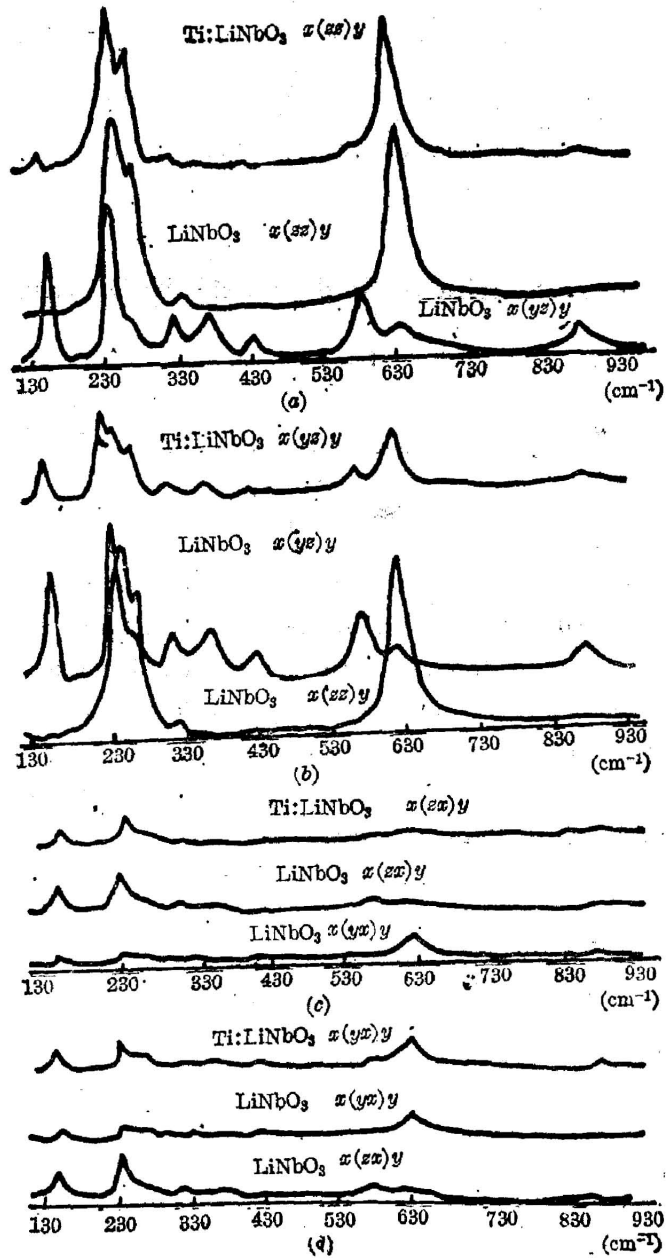


Fig. 3 Composite of Raman scattering spectra of Ti-diffused LiNbO_3 waveguide with scattering geometry of four kinds

光波与 LiNbO_3 晶体结构的相似性。

作者感谢金周哲、鄂书林、孔祥贵、许承杰、范俊清等同志对本实验的帮助。

参 考 文 献

- [1] G. Burns, F. Dacol *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1973, 22, No. 8 (Apr), 356.

- [2] R. F. Schaffle, M. J. Weber; *Phys. Rev.*, 1966, **152**, No. 2 (Dec), 705.
[3] И. И. Кондлевко, П. А. Коротков и др.; *Оптика и спектроскопия*, 1980, **49**, №. 5 (Ноя), 1011.
[4] 刘思敏, 张光寅等; 《物理学报》, 1984, **33**, No. 1 (Jan), 105.
[5] H. A. Haus, E. P. Ippen *et al.*; *Appl. Phys.*, 1982, **B23**, No. 2/3 (Jun/Jul), 161.
[6] J. F. Lam, H. W. Yen; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **45**, No. 11 (Dec), 1172.
[7] K. Sugii, M. Fukuma *et al.*; *J. Material Sci.*, 1978, **13**, No. 3 (Mar), 623.

Raman scattering of Ti-diffused LiNbO₃ waveguide

SHI BANGREN

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 14 August 1985; revised 14 July 1986)

Abstract

Four kinds of right angle Raman scattering spectra of Ti-diffused LiNbO₃ optical waveguide are reported in this paper. In the experiments on this waveguide, obvious anomalous phenomena in Raman scattering spectra have been observed for four scattering geometries. The phenomena can be considered as the results of TE/TM mode conversion of incident beam in the waveguide.

Key Words: Raman scattering optical waveguide.