

Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体二波耦合的异常现象*

许世文 李铭华 徐玉恒 刘劲松 梁昌洪 安毓英

(哈尔滨工业大学航天工程系, (西安电子科技大学技术物理系,
哈尔滨 150001) 西安 710071)**

摘 要 Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体的二波耦合指数增益系数随晶片厚度减小而急剧增大。增大泵浦光束直径, 可使指数增益的 2θ 角度响应范围拓宽。温度升高时, 指数增益随之增大, 且在 55°C、71°C 和 110°C 附近出现异常峰值, 本文对上述现象进行了分析研究。

关键词 指数增益系数, Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体。

1 引 言

光折变晶体的二波耦合指数增益系数是泵浦光能量转移到信号光的能力的体现, 是衡量光折变晶体性能的重要参数。指数增益系数既与晶体本身的固有特性有关, 又与外界实验条件有关, 如温度、晶体通光厚度、光束夹角和光束在晶体内的作用距离等。

铌酸锂(LiNbO₃)晶体的光折变灵敏度很低, 作者在固液同成分 LiNbO₃ 中掺入 0.10 mol% 的 CeO₂ 和 0.05 mol% 的 MnO₂, 生长了 Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体, 人工极化后, 将晶体加工成厚度为 2mm, 0.8 mm, 0.2 mm 的试样, 并埋在 LiNbO₃ 粉末中进行了还原处理。

2 实验结果

二波耦合指数增益系数 (Γ) 值, 可由耦合波方程的解给出:

$$I_1(\delta) = I_2(0) \frac{I_1(0) + I_2(0)}{I_1(0) + I_2(0)\exp(\Gamma\delta)} \exp[(\Gamma - a)\delta], \quad (1)$$

$$I_2(\delta) = I_1(0) \frac{I_1(0) + I_2(0)}{I_1(0) + I_2(0)\exp(\Gamma\delta)} \exp(-\Gamma\delta), \quad (2)$$

式中 $I_1(0)$ 和 $I_2(0)$ 为双光束的入射光强, δ 为晶片厚度, a 为晶体的吸收系数。 I_1 和 I_2 两束光在耦合时产生能量交换, 其中一束光(信号光)得到能量而放大, 另一束光(泵浦光)失去能量而衰减, Γ 表示 $\pi/2$ 相移的光栅分量所感应的单位长度增益, 当忽略光学吸收和晶体前后表面的反射时, Γ 可表示为:

* 黑龙江省自然科学基金资助课题。

** 由西安电子科技大学和哈尔滨工业大学等量工作, 共同执笔, 两单位排名并列。

收稿日期: 1993年9月3日; 收到修改稿日期: 1994年1月20日

$$\Gamma = \frac{1}{\delta} \ln \left(\frac{I_2 I_1}{I_2' I_1'} \right) \quad (3)$$

式中 $I_2(I_2')$ 为存在(不存在)耦合时的透镜信号光强度, $I_1(I_1')$ 为相应的泵浦光强度。当 $I_1 \gg I_2$ 时, 可忽略泵浦损耗, 此时 $I_1 \approx I_1'$, (3)式简化为

$$\Gamma = \frac{1}{\delta} \ln \left[\frac{I_2(\delta)(\text{有耦合})}{I_2(\delta)(\text{无耦合})} \right] \quad (4)$$

二波耦合实验光路图如图 1 所示

2.1 正常条件下的指数增益

厚度 $\delta = 2.0 \text{ mm}$ 的 Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体, 在室温 25°C , 泵浦光直径 D 的信号光直径 d 均为 1.0 mm , 二光束强度之比 $\beta = I_{10}/I_{20} = 2970$, $I_{10} = 4.56 \text{ W/cm}^2$, 测得 Γ 与双光束夹角 2θ 的关系曲线如图 2 所示, Γ 的最大值为 24 cm^{-1} , 对应于 $2\theta = 12^\circ\text{C}$

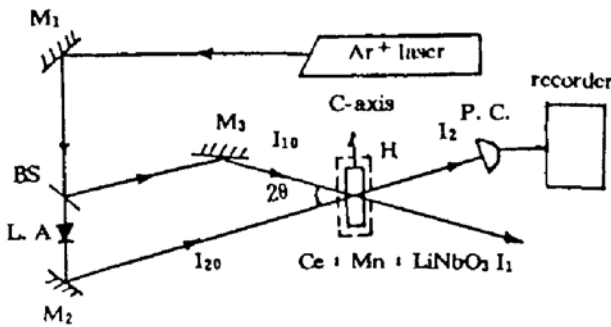


Fig. 1 The experimental light path schematic diagram of two-beam coupling

A-Ar⁺ ($\lambda = 488 \text{ nm}$), M_1, M_2, M_3 : reflective mirrors; BS: beam splitter; I. A.: light strenuator; H: heating furnace; P. C.: photo cell; B: recorder; I_{10} : induced pump light; I_{20} : induced signal light

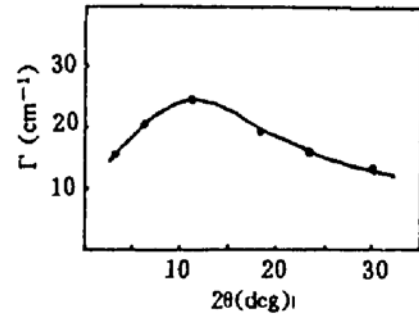


Fig. 2 Experimental curve of $\Gamma \sim 2\theta$

2.2 增大泵浦光直径时的指数增益

$\delta = 2.2 \text{ mm}$ 的 Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体, 在室温 25°C , D 增大到 5 mm , d 仍为 1 mm , $\beta = 2865$, $I_{10} = 4.25 \text{ W/cm}^2$, 测得 Γ 与 2θ 的关系曲线如图 3 所示, 此时 Γ 的最大值为 36 cm^{-1} , 在 2θ 角从 $10^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 变化范围内, Γ 值变化不大, 不出现明显的峰值。但保持较大的数值, 这对于全息存储, 光放大和相应共轭都有实际意义。

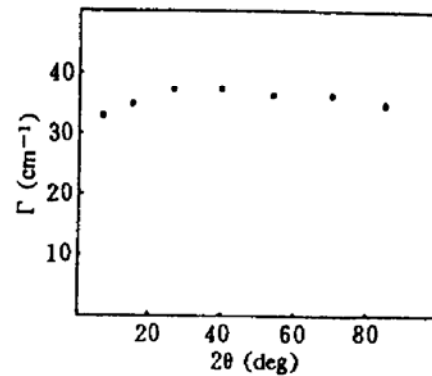


Fig. 3 Experimented curve of $\Gamma \sim 2\theta (d = 5 \text{ mm})$

2.3 薄晶片的指数增益

在室温 25°C , δ 分别为 0.8 mm 、 0.5 mm 和 0.2 mm 的 Ce : Mn : LiNbO₃, $D = 4 \text{ mm}$, $d = 1 \text{ mm}$, $\beta = 3120$, $I_{10} = 4.46 \text{ W/cm}^2$, 此时测得 Γ 与 2θ 的关系曲线如图 4 所示, 随晶片厚度的减小, 指数增益系数急剧, Γ 值最大可达 150 cm^{-1} ($\delta = 0.22 \text{ mm}$, $2\theta = 39^\circ\text{C}$)。

2.4 温度对指数增益的影响

δ 为 2 mm 的 Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体, 泵浦光和信号光直径均为 1 mm , $2\theta = 10^\circ$, $\beta = 2935$, $I_{10} = 4.2 \text{ W/cm}^2$, 在 $25^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ 范围内测得 Γ 与温度 T 的关系曲线如图 5 所示。当温度升高时, 指数增益增加, 并且在 55°C 、 71°C 和 110°C 附近, Γ 值出现异常增大。

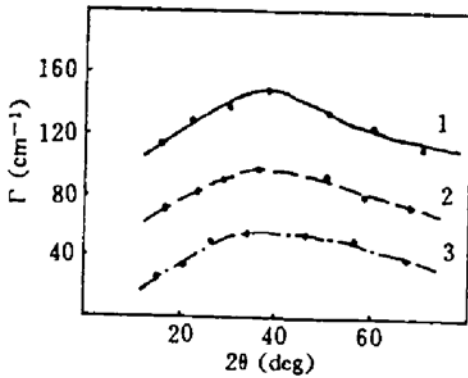


Fig. 4 Experimental curve of $\Gamma = 2\theta$ ($\delta = 0.2$ mm.
2 - $\delta = 0.5$ mm, 3 - $\delta = 0.8$ mm)

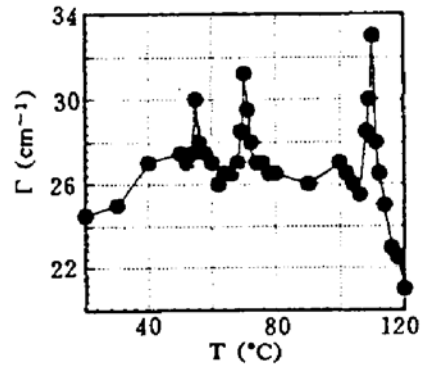


Fig. 5 Experimental curve of $\Gamma \sim T$

3 讨 论

在 LiNbO₃ 晶体中掺入 Ce 和 Mn 离子, 使得晶体的光折变性能得到提高, 这一点已在文献[1]中进行了详尽的讨论。

在泵浦光直径较大或薄晶体的情况下, 此时均有 $D > \delta$, 晶体内光感生的大角度散射光所以在晶体内表面产生全反射, 沿着晶轴“爬行”前进^[2], 因此晶体内光的耦合作用长度大大增加, 非相交区的泵浦光能量可以通过这种爬行方式传递信号光, 因此有效指数增益系数急剧增大。随着晶片厚度减小, 这种爬行效应越强, 则指数增益越大, 当泵浦光直径增加时, 这种爬行效应可以在一个宽的入射角范围内发生, 信号光能够在较宽的角度范围的获得泵浦光能量, 即指数增益的角度响应范围扩大^[3,5]。

在 55 °C、71 °C 和 110 °C 附近, Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体的指数增益出现异常增大, 这是由于此时在晶体内发生了结构相变^[5], 两相共存区的畸变可能造成离子位移, 在 C 轴方向上产生一附加电场, 其方向与晶体内电子方向一致, 称之为相变电场 E_A , 其效果同外加电场一样, 因此在这些异常点附近, Γ 值出现了异常增大。现将 E_A 唯像地表示为

$$E_A = \sum_{i=1}^3 E_{0i} \exp \left[-T - T_i \right]^2 / T_{0i}^2 \quad (5)$$

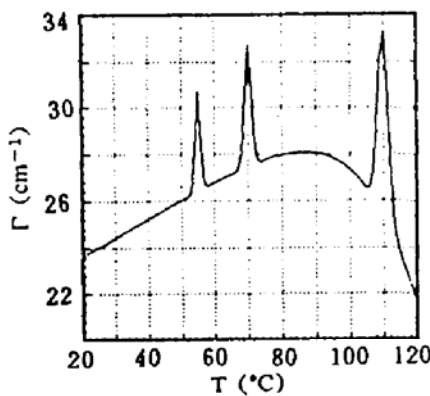


Fig. 6 Theoretical curve of $\Gamma \sim T$

式中 E_0 为最大相变电场, T_0 为衡量其温度宽度的参量。利用文献[6]给出的由一能级单载流子带导模型推出的 Γ 随 T 变化的函数关系, 取 $T_1 = 54$ °C, $T_2 = 69$ °C, $T_3 = 109$ °C, $T_{01} = 1.5$ °C, $T_{02} = 2$ °C, $T_{03} = 3$ °C, $E_{01} = 0.65 \times 10^6$ V/m, $E_{02} = 0.72 \times 10^6$ V/m, $E_{03} = 1.87 \times 10^6$ V/m, 晶体其它有关参数为 $E_t = 1.4 \times 10^{-19}$ J, $\sigma_0 = 10$ s⁻¹, $n_e = 2.2$, $n_o = 2.29$, $S = 10^{-5}$ m²/J, $\epsilon = 29$, $\gamma_{13} = 8 \times 10^{12}$ m/V, $\gamma_{33} = 30.8 \times 10^{-12}$ m/V, $N_A = 10^{23}$ m⁻³, 得到 $\Gamma \sim T$ 理论曲线如图 6 所示。与图 5 对比可知,

理论能很好地解释实验。相变电场数量级为 10^6 V/m, 与文献[5]中的结果 3×10^6 V/m 非常接近。

结 论 当泵浦光直径大于晶体厚度时,在晶体内部可以发生“光爬行”效应,这种效应使得二束光的有效作用长度增大,泵浦光能量可以更多地转移给信号光,指数增益系数 Γ 值急剧增大,同时 Γ 值的 2θ 角度响应范围拓宽,这对于光存储和光放大是很有意义的。在 55 °C、71 °C、110 °C 附近,指数增益系数出现了异常增大,这是由于此时的结构相变诱变发出的内电场,导致了这种异常现象

参 考 文 献

- [1] 李铭华,赵亚权,徐玉恒等, Ce : Mn : LiNbO₃ 晶体光折变效应的研究. 科学通报, 1992, 38(16) : 1476~1478
- [2] 张光寅,武原庆,刘思敏, LiNbO₃ : Fe 晶体薄片中的光爬行效应. 中国激光, 1987, 14(8) : 511~513
- [3] Zhang Jinwen, Sun Wanjun, Bian Shaoping *et al.*, Very high photorefractive gain in two-beam coupling with thin iron-doped LiNbO₃ crystal. *Chinese Physics Letters*, 1993, 10(4) : 227~230
- [4] Jingwen Zhang, Wanjun Sun, Hua Zhao *et al.*, Enhancement of the exponential gain coefficient as a result of the light-fanning effect in thin doped LiNbO₃ crystal. *Opt. Lett.*, 1993, 18(17) : 1391~1393
- [5] 许自然,沈惠敏,王威等, LiNbO₃ 在室温~130 °C 的锥光干涉及折射率导演. 物理学报, 1984, 22(8) : 1192~1194
- [6] Liu Jinsong, Shi Shunxiang, Li Minghua *et al.*, Temperature dependence of two-beam coupling in Ce : Mn : LiNbO₃ crystal. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(9) : 718~721

Extraordinary Phenomena of Two-Beam Coupling in Ce : Mn : LiNbO₃ Crystal

Xu Shiwen Li Minghua Xu Yuheng

(Department of Space Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Liu Jinsong Liang Changhong An Yuying

(Department of Technical Physics, Xi'an University, Xi'an 710071)

(Received 3 September 1993; revised 20 January 1994)

Abstract In Ce : Mn : LiNbO₃ crystal, the two-beam coupling exponential gain coefficient increases sharply along with the decrease of the thickness of the crystal sheet. Increasing beam diameter of the pump light, the angle range 2θ of gain Γ , may be extended. Nearby 55 °C, 71 °C and 110 °C, three extraordinary peaks present. These phenomena are studied in this paper.

Key words exponential gain coefficient, Ce : Mn : LiNbO₃.