

Mg : Fe : LiNbO₃ 晶体光折变 增强效应的研究*

李铭华 王家昌 赵业权

(哈尔滨工业大学应用化学系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

韩爱珍 高元恺

(哈尔滨工业大学自动控制系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

摘要 在铌酸锂晶体中掺 MgO 和 Fe₂O₃, 生长出 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体. 由于薄晶片的光爬行效应, 晶体的二波耦合指数增益系数高达 80cm⁻¹, 且角度响应范围加宽, 响应速度和抗光散射能力都比 Fe:LiNbO₃ 有较大改善. 以 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体作光放大器, 实现了一次迭代全息关联存储.

关键词 掺镁、铁铌酸锂, 增益系数, 全息关联存储.

引言

在铌酸锂(LiNbO₃)晶体中掺入其它微量元素, 可以大幅度地改善晶体的光折变性能, 如掺 Mg 提高光折变响应速度, 掺 Fe 可增强晶体的光折变灵敏度. 将 Mg 和 Fe 同时掺入 LiNbO₃ 生长的 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体, 则综合了 Mg、Fe 两种离子的作用, 输出的光束散射小, 噪声低, 又具有较高的光折变灵敏度和响应速度, 是一种优良的新型光折变材料.

我们研究的 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体采用提拉法从熔体中生长, 其中 MgO 和 Fe₂O₃ 在熔体中的掺入量分别为 5.0mol% 和 0.08mol%, 晶体样品尺寸为 10×0.2×10(mm³)(XYZ). Y 面通光, 通光长度为 0.2mm. 样品于 Li₂CO₃ 粉末中, 在 500 C 下还原退火处理 24h, 以增大 Fe²⁺ 离子浓度, 提高晶体的光折变灵敏度^[1].

1 二波耦合指数增益

二波耦合实验光路图如图 1 所示, Ar⁺ 激光器的输出波长为 488.0nm. 为使二束光充分耦合, 将参考光扩束, 使其直径为 $D=5\text{mm}$, 信号光束直径 $d=1\text{mm}$, 参考光强 $I_{20}=6.52\text{W}/\text{cm}^2$, 入射光束光强比 $\beta=I_{20}/I_{10}=3192$. 指数增益系数表达式为

* 国家自然科学基金资助项目

本文 1994 年 8 月 23 日收到, 修改稿 1995 年 2 月 15 日收到

$$\Gamma = \frac{1}{\delta} \ln \frac{I_1' I_2}{I_1 I_2'} \approx \frac{1}{\delta} \ln \frac{I_1'}{I_1}; \quad (1)$$

式(1)中 δ 为晶体透光长度, I_1' 和 I_1 分别是耦合和非耦合时信号光 I_{10} 的透射光强, I_2' 和 I_2 是相应的 I_{20} 的透射光强. 当 $\beta > 10^3$ 时, 参考光的损耗可以忽略, 上述近似式成立. 实验测得 Mg:Fe:LiNbO₃ 的指数增益系数 Γ 与 2θ 之间的关系如图2所示. 由图2可见, $\Gamma_{\max} = 80 \text{cm}^{-1}$, 在 θ 为 $10 \sim 90^\circ$ 范围内, Γ 值均保持较高的数值, 即晶体具有较宽的高增益角度范围.

以上实验结果可由薄晶片的光爬行效应来解释^[2], 当参考光较强且直径 $D \geq \delta$ 时, 满足全内反射条件的大角散射光可在晶体的内表面多次反射, 沿着光轴方向曲折前进, 即光爬行. 这些大角散射光在折回前进时与大截面的参考光发生能量耦合, 不断获得放大, 可以爬出光照区

外. 信号光既可与直接相遇的参考光发生耦合, 又可与来自非相交区的爬行光发生耦合, 还可与相交区内或附近的由参考光产生的小角散射光(不满足全内反射条件)发生耦合, 从几个方面获取能量, 获得放大, 因此其 Γ 值较高^[3]. 另外, 由于爬行光源在晶体内普遍存在弱散射光, 所以无论 2θ 角如何变化, 只要参考光的截面足够大, 强度足够强, 均可发生光爬行耦合. 此即 Γ 值随 2θ 角度变化无明显峰值的原因.

在相同的实验条件下, 测得 Mg:Fe:LiNbO₃ 和 Fe:LiNbO₃ 二波耦合响应时间(从光照开始到 Γ_{\max} 所需的时间)分别为 52s 和 230s. 掺镁后 LiNbO₃ 晶体的电荷重排速率增大, 光电导值增加^[4], 因此我们认为响应速度也随之加快.

图3给出了 Mg:Fe:LiNbO₃ 和 Fe:LiNbO₃ 输出光斑的照片, 其中 Mg:Fe:LiNbO₃ 的输出光斑散射较小, 噪声低, 质量高. 这可能与掺入高浓度 MgO 后, 晶体的抗光损伤能力提高有关.

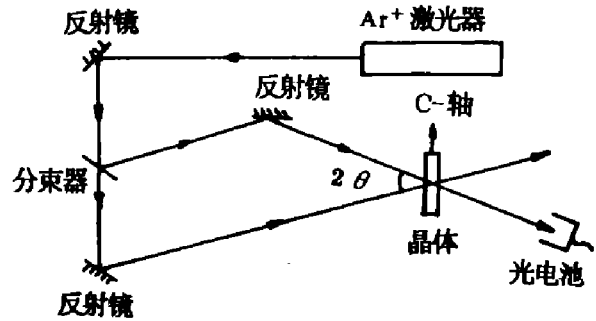


图1 二波耦合实验光路图
Fig. 1 Experimental schematic of two-beam coupling

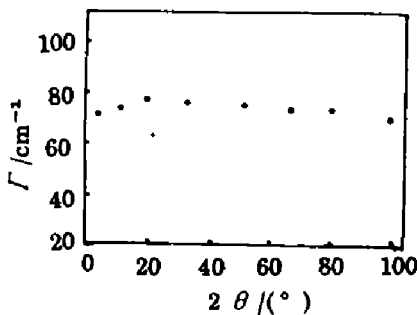


图2 Γ - 2θ 实验曲线
Fig. 2 Experimental curve of Γ - 2θ

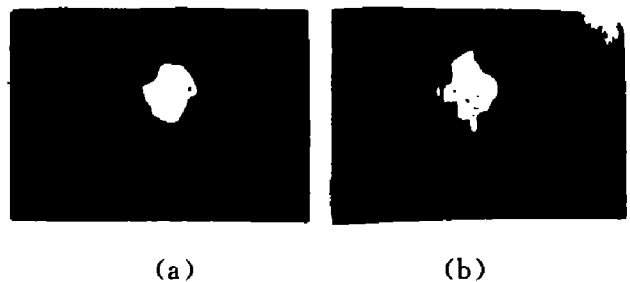


图3 晶体输出光斑
(a) Mg:Fe:LiNbO₃ (b) Fe:LiNbO₃
Fig. 3 The output spots from

2 一次迭代全息关联存储实验

以 Mg:Fe:LiNbO₃ 作为光折变晶体放大器,另一块掺杂 Ce:Fe:LiNbO₃ 晶体作存储元件,采用一次迭代实现了全息关联存储.实验光路图见图 4.

由 Ar⁺ 激光器出射的波长为 488.0nm 的 *e* 偏光,经分束器 BS₁ 后分为一束参考光和一束加载信息的物光,以 $2\theta_1 = 12.0^\circ$ 入射到记录介质 Ce:Fe:LiNbO₃ 上,将一幅包含有 4 个几何图形的图像(见图 5(a))存储起来,然后用所存入图像的一部分(见图 5(b)),仍然置于 IP 上寻址,该寻址光经光折变晶体放大器 Mg:Fe:LiNbO₃ 后被放大,再经 M₄、M₅ 和 BS₃,被反馈用于再现全息图(见图 5(c)),在输出平面 OP 上被接收.

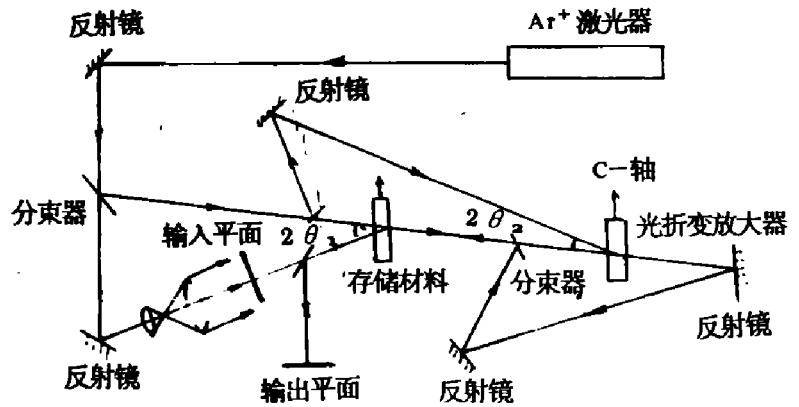


图 4 全息关联存储实验光路图
Fig. 4 Experimental schematic of holographic associative memory

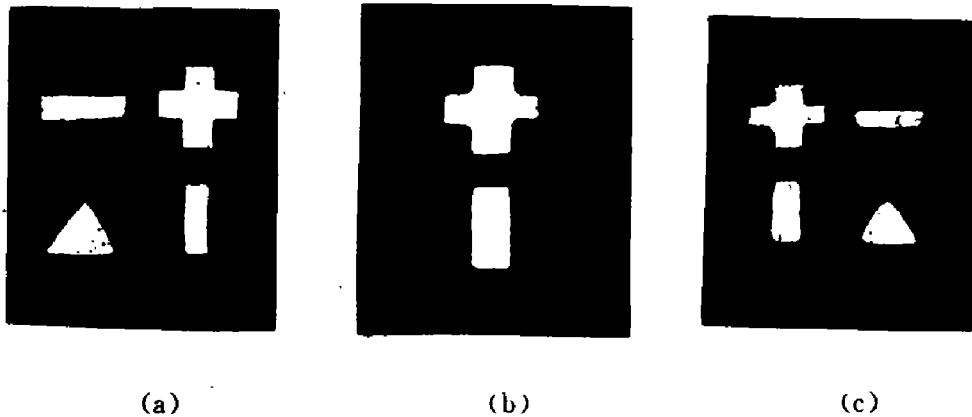


图 5 全息关联存储实验结果
(a)存储图像,(b)寻址图像,(c)再现图像
Fig. 5 Experimental results of holographic association memory.
(a)stored image (b)addressed image (c)reconstructed image

3 结论

Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体综合了 Mg 和 Fe 两种掺杂离子的作用,既具有较高的光折变灵敏度,又有响应时间短,光散射小等优点,是一种优良的光折变材料.利用薄晶片的光爬行效应,在 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体上获得了 80cm^{-1} 的二波耦合增益和宽的 2θ 角度响应范围.用 Mg:Fe:LiNbO₃ 晶体作放大器,实现了一次迭代全息关联存储.

参考文献

- 1 李铭华,贾晓林,徐玉恒,等. *硅酸盐学报*, 1994, **22**(2):129
- 2 张光寅,等. *中国激光*, 1987, **14**(8):511
- 3 Zhang J, *et al.*, *Chin. Phys. Lett.*, 1993, **10**(4):227
- 4 Arizmendi L, *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 1987, **61**(5):1682

STUDY ON THE ENHANCEMENT OF PHOTOREFRACTIVE EFFECT OF Mg:Fe:LiNbO₃ CRYSTAL*

Li Minghua Wang Jiachang Zhao Yiequan

(Department of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjian 150001, China)

Han Aizhen, Gao Yuankai

(Department of Control Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjian 150001, China)

Abstract With MgO and Fe₂O₃ doped into LiNbO₃, the Mg : Fe : LiNbO₃ crystal was grown. The highest exponential gain coefficient ($\Gamma=80\text{cm}^{-1}$) was measured in a thin Mg : Fe : LiNbO₃ sample, of which the thickness was 0.2mm. The sample showed high gain coefficient within a wide angular range. These features were explained by the effect of light crawling, which originated from light scattering with large angles. The response speed and the ability of anti-scattering of Mg:Fe:LiNbO₃ were improved as compared with Fe:LiNbO₃. The once iteration of output in real-time holographic associative memory was implemented by using Mg:Fe:LiNbO₃ as a photorefractive amplifier.

Key words LiNbO₃ crystal doped with Mg and Fe, gain coefficient, holographic associative memory.

* The project supported by The National Natural Science Foundation of China