

Photorefractive Holographic Storage Properties of Blue Optimization in:Fe:Mn:LiNbO₃ Crystals

Chun-lei Zhang¹, Chao Xu², Yang Mo³, Liang-cai Cao⁴

¹Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology, Harbin 150040, China;

²School of Chemical Engineering and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

³Applied science college Harbin University of science and Technology, Harbin 150080, China

⁴Department of Precision Instrument(10084)

Email: zhangchunlei@nefu.edu.cn

Abstract: Doped with 0.1wt%MnCO₃ 0.05WT%Fe₂O₃ and various concentration(0.5mol%、1mol%、1.5mol%)In₂O₃.Using Si-c rod as heating body In:Fe:Mn:LiNbO₃ crystals by Czochralski method. The using Ar⁺ ion Laser 488.0nm blue light as light source storage properties were measure, diffraction efficiency, sensitivity and dynamic range comparing with than that experiment great extent increase. The charge carrier type were measured, charge carrier type hole is dominant. The mechanism blue light storage properties enhance of In:Fe:Mn:LiNbO₃ crystals is researching.

Keywords: In:Fe:Mn:LiNbO₃ crystals holographic storage properties dynamic range

蓝光优化 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体光折变全息存储性能

张春雷¹, 徐超², 冷雪松³, 莫阳³, 方桂珍¹, 曹良才⁴

¹东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室 哈尔滨 150040

²哈尔滨工业大学化工学院 哈尔滨 150001 ³哈尔滨理工大学应用科学学院 哈尔滨 150080

⁴清华大学精仪系 北京 100084

Email: zhangchunlei@nefu.edu.cn

摘 要: 在 LiNbO₃ 中掺进 0.1wt%MnCO₃, 0.05wt%Fe₂O₃ 和不同浓度 (0.5mol%、1mol%、1.5mol%) In₂O₃, 采用硅碳棒作加热体, 以提拉法生长 In: Fe: Mn: LiNbO₃ 晶体。采用 Ar⁺ 离子激光器 488.0nm 蓝光作光源测试晶体的存储性能, 蓝光测试的衍射效率、灵敏度和动态范围较红光测试大幅度提高。测试蓝光 In: Fe: Mn: LiNbO₃ 晶体载流子类型, 光激载流子类型以空穴为主, In: Fe: Mn: LiNbO₃ 晶体蓝光存储性能增强机理进行研究。

关键词: In: Fe: Mn: LiNbO₃ 晶体, 全息存储性能, 动态范围

1 引言

光学体全息存储由于具有存储容量大、数据传输速率高、信息寻址速度快等特点, 在现代存储竞争中显示出巨大的优势和良好的发展前景。理想的体全息存储材料应具有高折射率调制、低噪声、高灵敏度以及大的动态范围。同时, 为实现长期存储, 还需要材料具有非挥发性。Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体具有衍射效率高, 存储寿命长, 具有非挥发性^[1], 但其响应时间长, 散射噪声强等缺点, 限制了在全息存储的应用。在 Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体中掺进 In³⁺ 离子。In³⁺ 离子浓度增加, 衍射效率, 灵敏度和动态范围下降。采用蓝光改

良优化 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体的存储性能。在蓝光照射下, 随着 In³⁺ 离子浓度增加, 衍射效率、响应速度、灵敏度和动态范围都有较大幅度增加。

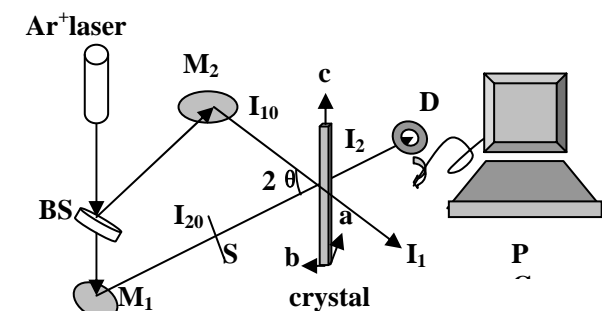
2 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体的生长

在 LiNbO₃ 中掺进 0.05wt%Fe₂O₃, 0.1wt%MnCO₃, 和不同浓度 (0.5mol%、1mol%、1.5mol%) In₂O₃, 采用提拉法生长 In(1mol%):Fe:Mn:LiNbO₃ FMI, In(2mol%):Fe:Mn:LiNbO₃ FM2, 和 In(3mol%):Fe:Mn:LiNbO₃ FM3。晶体生长工艺参数: 轴向温度梯度为 50℃/cm、晶体生长速度为 1~2mm/h、晶体旋转速度为 13~26rpm。极化电流密度为 5mA//cm², 极化温度为 1180~1200℃。

3 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体光折变全息存储性能测试

黑龙江省教育厅科学研究基金 (11551099)

清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室国家开放课题基金



M₁ and M₂: mirrors; BS: beam splitter; D: detector; S: shutter; PC: computer

Fig. 1 Setup diagram of two-wave coupling experiment
图 1 二波耦合实验光路图

晶体的光折变存储性能包含有衍射效率, 响应时间、擦除时间、灵敏度和动态范围。利用二波耦合光路测试晶体的光折变存储性能^[2]。实验光路如图 1 所示:

图中所示二波耦合光路中, 光源采用 488nm (蓝光) 的氩离子 (Ar⁺) 激光器。出射光被分为两束光 I₁₀ 和 I₂₀。I₁₀=I₂₀=85mw/cm², 光斑直径为 2.0mm, 这两束光被反射镜 M₁ 和 M₂ 反射后以 2θ 角入射在晶体上, 2θ=28°。入射光以 e 光入射, 在内部形成折光率光栅, 光栅形成之后, 挡在其中一束光, 则可测出另一束光的衍射效率, 衍射效率定义如下:

$$\eta = \frac{I'_2}{I_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 I₁ 为光栅建立前 I₁₀ 的透射光强, I'₂ 为光栅建立后 I₁ 在 I₂ 方向的衍射光强。测试结果见表 1。

响应时间 τ_w: 光束照射到晶体形成光栅, 衍射效率达到最大值的 1-e⁻¹ 所需的时间。测试结果见表 1。

擦除时间 τ_e: 当衍射效率达到最大值, 关闭信号光,

衍射效率降到零时所需的时间。测试结果见表 1。

灵敏度 S: 光折变灵敏度是描述晶体利用指定光能量来建立光折变光栅的能力^[3]。计算公式如下:

$$S = \left(\frac{d\sqrt{\eta}}{dt} \right)_{t=0/IL} \approx \frac{\sqrt{\eta_s}}{\tau_w IL} \quad (2)$$

I 为入射到晶体上的总光强、t 是时间、L 是晶片厚度、η_s 是衍射效率最大值。计算结果见表 1。

动态范围 M/#: M/# 描述了材料在固定系统的配置下单位体积内记录全息图的能力。计算公式如下:

$$M / \# = \tau_e \left(\frac{d\sqrt{\eta}}{dt} \right)_{t=0} \approx \frac{\tau_e \sqrt{\eta}}{\tau_w} \quad (3)$$

τ_e 为擦除时间。计算结果见表 1。

Table 1 The holographic storage proportion of Of In:Fe:Mn:LiNbO₃ crystal
表 1 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体的存储性能

| Crystal | η / % | τ _w / S | τ _e / S | S/cm/J | M/# |
|---------|-------|--------------------|--------------------|--------|------|
| FM1 | 57.5 | 82.4 | 182 | 0.205 | 1.67 |
| FM2 | 62.5 | 63.5 | 143 | 0.366 | 1.78 |
| FM3 | 68.5 | 41.3 | 98 | 0.589 | 1.96 |

蓝光测试 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体存储。随着 In³⁺ 浓度增加: 衍射效率增加、响应时间缩短、擦除时间下降、灵敏度增加和动态范围增加。蓝光对 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体全息存储性能优化。红光测试, 随着 In³⁺ 离子浓度增加: 衍射效率、灵敏度和动态范围下降。

4 载流子类型确定

4.1 当等光强的参考光 I₁ 和信号光 I₂ 在晶体写入光栅以后, 关闭其中一束光, 用另一束光来对所记录光栅进行擦除, 在擦除过程中, 擦除光与它的衍射光在晶体内部发生干涉, 从而写入新的光栅, 新旧光栅之间的相互作用将影响擦除速度。在图 1 所示的实验配置下^[4], 测试 In:Fe:Mn:LiNbO₃ 晶体在 488nm 下的擦除曲线如图 2, 图 3 所示:

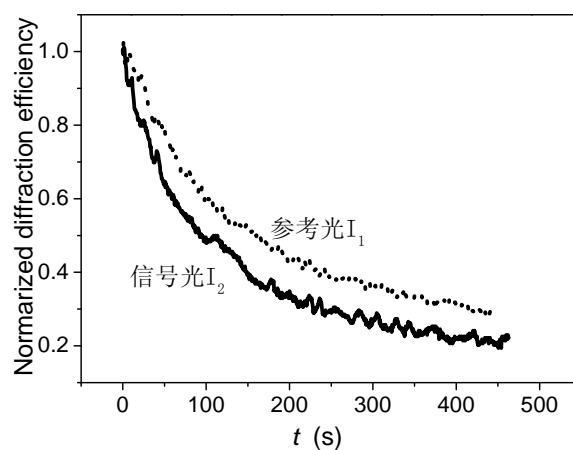


Fig2 Erase curves of FM1 at 488nm wavelength

图 2 FM1 晶体在 488nm 下的擦除曲线

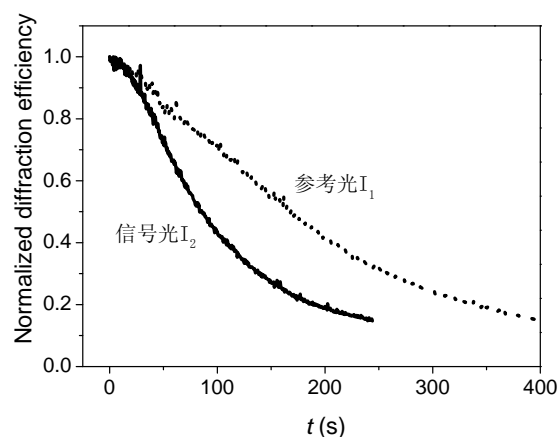


Fig.3 Erase curves of FM3 at 488nm wavelength

图3 FM3 晶体在 488nm 下的擦除曲线

如果信号光 I_2 比参考光 I_1 擦除的快, 则说明能量由参考光 I_1 光转移到信号光 I_2 光, 晶体中的能量转移方向与晶体光轴方向相同, 这时 In:Fe: Mn:LiNbO_3 晶体光载流子的类型以空穴为主。相反光激载流子以电子为主。

4.2 蓝光优化 In:Fe:Mn:LiNbO_3 晶体全息存储增强机理讨论⁽⁵⁾。

当 In^{3+} 离子进入 In:Fe: Mn:LiNbO_3 晶体后, 将导致 $\text{Nb}_{\text{Li}}^{4+}$ 浓度下降, 从而引起材料在 488nm 下光电导的增加, 从而引起快速的光折变响应。对空穴来说, Mn 陷阱为浅陷阱, Fe 陷阱为深陷阱, 488nm 的蓝光有足够的能量来激发深浅陷阱的光激载流子。能激发深浅陷阱中的空穴。由于同相位的特点, 材料所记录的光栅的总强度为深浅陷阱能级光栅强度之和。这样相对

于单中心 LiNbO_3 晶体来说, 双中心 In:Fe: Mn:LiNbO_3 晶体中的光栅强度大大增强了, 使晶体的存储性能大幅度增加。

5. 结论

采用硅碳棒作加热体, 提拉法生长 In:Fe: Mn:LiNbO_3 晶体, 采用二波耦合光路, 氩离子 (Ar^+) 488nm 蓝光作光源, 测试 In:Fe:Mn:LiNbO_3 晶体全息存储性能, 衍射效率、响应时间、擦除时间、灵敏度和动态范围。随着 In^{3+} 浓度增加, 衍射效率、响应速度、灵敏度和动态范围增加, 采用蓝光确定载流子类型。是以空穴为主。蓝光存储性能大幅度增长, 对于蓝光优化全息存储性能增强机理进行讨论。

References (参考文献)

- [1] K.Buse, A.Adibi, and D. Psaltis. Non-volatile holographic storage in doubly doped lithium niobate crystal. *Nature*. 1998,393:665-668
- [2] Xiaochun Li, Minxian Wu, Yingbai Yan, Dynamic range metric for a photorefractive crystal in a volume holographic memory system. *Optics. Communications*.1997,138(3):143-150
- [3] F. H. Mok,G. W. Burr and D. Psaltis. System Metric for Holographic Memory systems. *Opt. Lett.* 1996,21:896
- [4] ZHANG Chun-lei. FAN Ye-xia. XU Chao. NON-VOLATILE HOLOGRAPHIC STORAGE OF Zn IONS DOPED Mn: Fe: LiNbO_3 CRYSTALS.*JOURNAL OF SYNTHETIC CRYSTALS*. 2010, 39. (extra edition)
张春雷, 范叶霞, 徐超. Zn:Mn:Fe:LiNbO₃ 晶体非挥发性存储. *人工晶体学报*, 2010, 39(增刊): 13-17
- [5] Xiudong Sun, Suhua Luo, Jiang Wang. Improvement of blue photorefractive properties in In-doped $\text{LiNbO}_3\text{:Fe:Cu}$ crystals. *J. Phys. D: Appl Phys.* 2009, 42: 115413