

In·Fe·LiNbO₃ 晶体的全息存储性能研究*

赵业权 杨春晖 徐悟生

(哈尔滨工业大学航天工程与力学系, 哈尔滨 150001)

王继扬

(山东大学晶体材料国家重点实验室, 济南 250100)

摘 要 在 LiNbO₃ 中掺进 In₂O₃ 和 Fe₂O₃ 用恰克拉斯基(Czochralski)法生长 In·Fe·LiNbO₃ 晶体。测试表明, In·Fe·LiNbO₃ 晶体抗光致散射能力高, 响应速度快, 存储保存时间长。研究了 In·Fe·LiNbO₃ 晶体全息存储性能的机理, 测得的衍射效率最大值为 73%。

关键词 In·Fe·LiNbO₃ 晶体, 全息存储性能, 衍射效率。

1 引 言

三维光折变晶体存储系统的存储信息容量可达到 $10^{12} \sim 10^{13}$ bit 以上, 比二维盘片存储介质高 1000 多倍。光折变晶体作适当处理后, 不仅可存贮、读出信息, 且擦除后又可重新写入, 反复使用。正是它的这些特性与优点, 使得光折变晶体全息存储应用的基础研究成为当前国际上的研究热点。选择优质的全息存储的光折变晶体材料是实现三维全息存储的关键。掺杂 LiNbO₃ 晶体的全息记录保存时间长(1 个月以上)。且能生长出大尺寸的晶体 ($\phi 60$ mm \times 100 mm 以上)。当前国内外用于全息存储的掺杂铁铌酸锂(Fe·LiNbO₃)晶体^[1], 在激光功率密度变高时产生光感应“扇形”噪音光散射, 使光折变器件输出图像或数据产生严重的畸变, 且响应时间长。本文在 LiNbO₃ 中掺入 In₂O₃ 和 Fe₂O₃ 生长 In·Fe·LiNbO₃ 晶体^[2], 它的抗光致散射能力比 Fe·LiNbO₃ 晶体提高 2 个数量级, 响应速度比 Fe·LiNbO₃ 高 1 个数量级以上。

2 In·Fe·LiNbO₃ 晶体的生长

2.1 原料的配制

采用高纯原料: Nb₂O₅、Li₂CO₃、In₂O₃ 和 Fe₂O₃ 纯度皆为 99.99%。LiNbO₃ 采用固液同成分配比, 即 LiCO₃/Nb₂O₅(物质的量比), 掺杂量 In₂O₃ 为 0.018 mol, Fe₂O₃ 为 0.0005 mol。

2.2 晶体生长参数的选择

采用恰克拉斯基(Czochralski)法生长 In·Fe·LiNbO₃ 晶体, 生长方向为 $\langle 001 \rangle$ 。主要工艺参数如下: 轴向温度梯度为 30 °C/cm ~ 40 °C/cm, 径向温场均匀对称, 晶体的生长速度为

* 国家科委 863 高技术资助项目。

收稿日期: 1997-12-01; 收到修改稿日期: 1998-08-31

2 mm/h, 晶体旋转速度 20 rpm~ 25 rpm。晶体退火和极化温度为 1180℃, 极化电流密度为 5 mA/cm²。晶体生长完毕后, 按 15 mm×15 mm×2 mm 尺寸切割。再将晶片埋入 Li₂CO₃ 粉中进行还原处理, 还原温度为 500℃, 还原时间增加, 即施主浓度增加, 晶体的光折变灵敏度增强。

3 晶体的性能测试

3.1 抗光致散射能力的测试^[3]

采用直接观测透射光斑变形法测试晶体的抗光致散射能力, 测试装置示意图如图1所示。

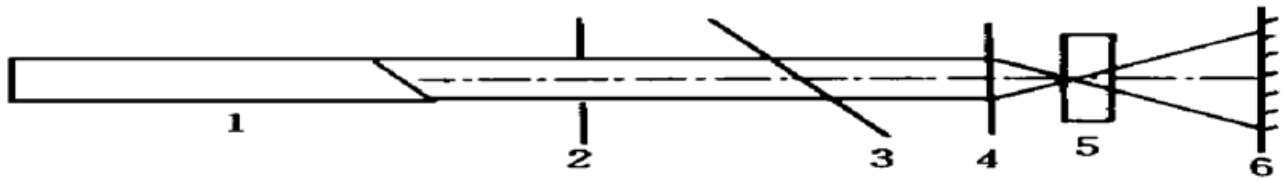


Fig. 1 Schematic of measurement setup for light scattering ability resistance. 1: Ar⁺ laser, 2: light shed, 3: beam splitter, 4: lens, 5: crystals, 6: screen

Ar⁺ 离子激光器发出的波长为 488.0 nm, 经光阑和凸透镜, 聚焦于晶体上, 在观测屏上接收到透射光斑。当激光功率密度较小时, 透射光斑为圆形斑; 当激光功率密度逐渐增大到某一值时, 晶体内部产生光致散射, 透射光斑沿晶体 c 轴拉长, 发生畸变。通常把透射光斑开始变形时的激光功率密度定义为晶体的抗光致散射能力 R。测试结果列于表 1。

Table 1. Light scattering ability resistance of crystals

crystals	In·Fe·LiNbO ₃	Fe·LiNbO ₃
R/(W/cm ²)	9.25×10 ³	8.96×10

由测试结果可知, In·Fe·LiNbO₃ 晶体抗光致散射能力比 Fe·LiNbO₃ 晶体提高 2 个数量级。

3.2 晶体衍射效率的测试

3.2.1 利用二波耦合光路测试 In·Fe·LiNbO₃ 的衍射效率

衍射效率是全息存储重要参数之一。高的衍射效率可以使所记录的图像读出变得很清晰完整。其测试光路图如图 2 所示。

衍射效率定义为经过光栅的 I₂ 在 I₁ 处的衍射光强 I₁' 与光栅不存在时 I₂₀ 的透射光强 I₂ 之比

即
$$\eta = \frac{I_1'}{I_2} \times 100\%$$

由 Ar⁺ 激光器作光源, 波长 λ = 488.0 nm, 偏振方向在入射平面内。一束激光经分束器 BS 分成 I₁₀ 和 I₂₀, 两束光以 2θ 夹角入射在晶体 y 面上, 两光束的光功率密度 I₁₀ = I₂₀ = 1.92 W/cm², 光束直径皆为 1 mm。测得晶体衍射效率 η 随 2θ 的变化关系曲线如图 3 所示。

当 2θ = 9.8° 时, 衍射效率的最大值达到 73%。响应时间定义为入射光开始照射, 直到光栅建立达到稳定值(1- e⁻¹) 所需的时间。

当光强 I₂₀ = I₁₀ = 1.92 W/cm² 时, 测得的响应时间对 In·Fe·LiNbO₃ 晶体, 为 τ = 14 s; 对 Fe·LiNbO₃ 晶体, 为 τ = 152 s。即 In·Fe·LiNbO₃ 晶体的响应速度比 Fe·LiNbO₃ 晶体快 1 个数量级以上^[4]。

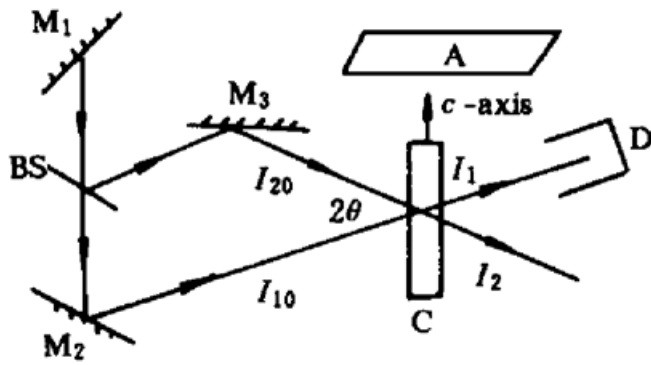


Fig. 2 The light path map of two wave coupling. M: mirror, BS: beam splitter, D: detector, A: Ar^+ laser, C: crystal

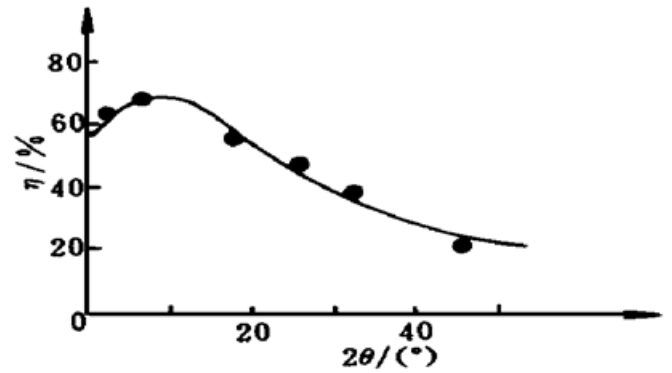


Fig. 3 Experimental curve of η vs 2θ

3.2.2 晶体的存储保存时间

采用图 2 中所示的二波耦合光路, 测试 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的衍射效率 $\eta_{\max} = 73\%$, $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体晶体的衍射效率 $\eta_{\max} = 78\%$ 。将晶片放在暗处保存 2 个月, 重新测试晶片的衍射效率, 得到 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体为 $\eta_{\max} = 72\%$ 、 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体为 $\eta_{\max} = 75\%$ 。由测试结果 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的存储保存时间比 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的长。

4 结果和讨论

In^{3+} 在 LiNbO_3 中起到提高晶体的抗光致散射能力和提高响应速度的作用。 Fe 在 LiNbO_3 中起到提高光折变灵敏度的作用。 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体抗光致散射能力比 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体高 2 个数量级。响应速度比 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体高 1 个数量级以上。作者认为: $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体光折变性能增高的机理是由于在 LiNbO_3 晶体中存在大量的反位缺陷 $\text{Nb}_{\text{Li}}^{4+}$ (Nb^{5+} 占据 Li^+ 位) 中心, 它起到电子陷阱中心的作用。在 LiNbO_3 中掺入适量的 In^{3+} 时, In^{3+} 将取代 $\text{Nb}_{\text{Li}}^{4+}$ 中心, 而使电子陷阱中心减少。当掺 In^{3+} 量高于 1.5 mol% 以上时, LiNbO_3 晶体的陷阱中心将全部被消除。在适度掺 In^{3+} (1.5~1.8 mol%) 的情况下, 作为光折变光敏中心的 Fe^{2+} 离子仍占据 Li^+ 位, 因而仍是光折变敏感的。由于电子陷阱的减少, 导致晶体光电导的增加与激发载流子迁移率的增大。使光感应“扇形”光散射受到抑制和提高响应速度。作者采用图 2 的二波耦合光路测试晶体的光电导, 测试结果为: $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的光电导 $\sigma_{\text{In}} = 1.4 \times 10^{-14} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$, 而 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的光电导 $\sigma_{\text{Fe}} = 8.7 \times 10^{-15} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ 。 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体光电导的增加导致晶体抗光致散射能力的提高和晶体响应速度的加快。用三价的 In^{3+} 离子代替二价的 Mg^{2+} 或 Zn^{2+} 离子, 在晶体中的掺杂量只需 Mg^{2+} 或 Zn^{2+} 的 1/3, 即可达到同样的结果。掺杂量的减少, 有利于生长高光学质量的掺杂 LiNbO_3 晶体。

结 论 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体抗光致散射能力比 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体高 2 个数量级以上, 响应速度比 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体高 1 个数量级以上。存储保存时间达到 1 个月以上。远远高于 BaTiO_3 和 KNbO_3 (存储保存时间只有几小时)。 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体的存储保存时间也长于 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体。因而 $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 晶体是更为优良的用于全息记录的晶体材料。

参 考 文 献

- [1] Ganterp, Huignarjp. *Photorefractive Materials and Their Applications I (and II)*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
- [2] Volk T, Rubina N, W hleck M. Optical-damage-resistant in lithium niobate. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1994, **11**(9): 1681~ 1687
- [3] 李铭华, 赵业权, 孙光跃. 掺钽铌酸锂晶体光折变效应的研究. 中国稀土学报, 1992, **10**(1): 141~ 146
- [4] 李铭华, 贾晓林, 王家昌. 掺杂对铌酸锂光折变响应速度的提高. 硅酸盐学报, 1994, **22**(6): 592~ 594

Study of the Holographic Storage Properties of $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ Crystal

Zhao Yequan Yang Chunhui Xu Wusheng

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

Wang Jiyang

(National Key Laboratory of Crystal Material, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 1 December 1997; revised 31 August 1998)

Abstract The $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ crystal has been grown by doping In_2O_3 and Fe_2O_3 into LiNbO_3 . The measurement results show that, the $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ crystal has high light scattering resistance, high response speed and long storage conservative time. The mechanism of this crystal behaving holographic storage properties is discussed. The maximum value of the diffraction efficiency measured is 73%.

Key words $\text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ crystal, holographic storage properties, diffraction efficiency.