

文章编号:1004-4213(2011)08-1276-6

# Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体位相共轭 性能和全息关联存储

张春雷<sup>1</sup>, 徐超<sup>2</sup>, 范叶霞<sup>3</sup>, 冷雪松<sup>2</sup>, 许磊<sup>2</sup>, 方桂珍<sup>1</sup>, 关承祥<sup>4</sup>, 徐玉恒<sup>2</sup>

(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 100040)

(2 哈尔滨工业大学 化工学院, 哈尔滨 150001)

(3 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040)

(4 哈尔滨师范大学 物理系, 哈尔滨 150080)

**摘 要:**在同成分 LiNbO<sub>3</sub> 中, 掺入 ZnO 的摩尔分数分别为 1%、3%、5%、7% 和 9%, 掺入(质量分数)0.03% MnCO<sub>3</sub> 和 0.08% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 采用提拉法生长了优质 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体. 测试 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体的 OH 红外吸收光谱, 抗光损伤能力和位相共轭性能. Zn 离子浓度在 7% 和 9% 时, OH 吸收峰移到 3 528 cm<sup>-1</sup>, 讨论 OH 吸收峰移动机理. 随着 Zn 离子浓度增加, 抗光损伤能力增加. Zn 离子浓度增加到 7%, 达到阈值. Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤能力比 LiNbO<sub>3</sub> 晶体高二个数量级, 研究高掺锌 Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤增强机理. 随着 Zn 离子浓度增加, Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体位相共轭反射率降低, 位相共轭响应速度增加. Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体位相共轭镜消除了光波的位相畸变. 以 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体作存储介质进行全息关联存储实验. 讨论全息关联存储的工作原理. 以原图象的 25% 和 50% 进行寻址, 在输出平面上接收到较完整的存储图象.

**关键词:** Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体; 位相共轭性能; 全息关联存储

**中图分类号:** O734

**文献标识码:** A

**doi:** 10. 3788/gzxb20114008. 1276

## 0 引言

近些年来, 光折变非线性光学是非线性光学中发展起来的一个新领域. 由于光折变材料具有高灵敏度, 大存储容量, 并具有较强的非线性特性, 使其在光学信息处理, 特别是光计算中有许多应用. 在光折变晶体材料中, 铌酸锂(LiNbO<sub>3</sub>)晶体具有较大的非线性系数, 优良的电光、声光、压电、非线性光学和位相共轭效应和全息存储特性. 为了提高位相共轭效应和全息关联存储性能, 在 LiNbO<sub>3</sub> 晶体中掺进光折变敏感杂质如 Mn Fe, 生长的 Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体<sup>[1]</sup>. 但其抗光损伤能力很低. 在 Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体中掺入 Zn<sup>2+</sup> 生长 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体. 当 Zn<sup>2+</sup> 浓度达到阈值浓度时, Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤能力比 LiNbO<sub>3</sub> 晶体提高二个数量级<sup>[2-3]</sup>. 相位复共轭技术主要是获得相对于给定光波而言具有反演位相(或波阵位)的光

波. 这种技术在光学上相当于对复空间振幅进行复共轭运算, 所以相位复共轭波等价于时间反演波. 采用四波混频产生位相共轭性能和研究全息关联存储的特性<sup>[4-6]</sup>. 全息关联存储是神经网络计算机的关键部分, 最重要的特点是内容寻址存储(Content Addressable Memory, CAM). 其特点是只知道所需查找信息部分内容时, 就能迅速地从所存储的全部信息中找出与之相符的那项信息, 因此 CAM 对于模式识别有特别重要意义. 关联存储器的重要特点就在于此. 本文中生长了优质的 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体. 利用 OH 红外吸收光谱研究 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体结构, 研究 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤能力. 利用 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体简并四波混频产生位相共轭效应, 能消除图象的位相畸变, 并为全息关联存储提供反馈, 取阈和增益. 关联存储是神经网络计算机的关键部分, 因此 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体在位相共轭和

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60777006)资助

第一作者: 张春雷(1979-), 男, 讲师, 主要研究方向为晶体光折变性能. Email: zhangchunlei@nefu.edu.cn

通讯作者: 徐超(1983-), 男, 博士, 主要研究方向为晶体光折变性能. Email: xuchaohit@gmail.com

收稿日期: 2010-03-16; 修回日期: 2011-03-16

全息关联存储中有着重要应用.

## 1 晶体生长和样品制备

在 LiNbO<sub>3</sub> 中掺进不同浓度 (1%、3%、5%、7%、9%) 的 ZnO、0.03% MnCO<sub>3</sub> 和 0.08% 的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以提拉法生长 Z<sub>1</sub>: Zn(%) : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub>、Z<sub>2</sub>: Zn(3%) : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub>、Z<sub>3</sub>: Zn(5%) : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub>、Z<sub>4</sub>: Zn(7%) : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub>、Z<sub>5</sub>: Zn(9%) : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub>. 使用的原料是 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、ZnO、MnCO<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 纯度皆为 99.99%, 采用中频加热单晶炉生长晶体. 原料经过混匀、称量、烧结. 在烧结过程中, 700 °C 恒温 2 h, 使 Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、MnCO<sub>3</sub> 充分分解, 1150 °C 恒温 2 h, 使原料成为 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 多晶. 生长加热炉的轴向温度梯度为 40 °C~50 °C/cm, 晶体生长速度为 1.0~2.0 mm/h, 晶体旋转速度为 15 rpm~25 rpm. 晶体极化温度为 1180 °C~1200 °C, 极化电流密度为 5 mA/cm<sup>2</sup>.

## 2 晶体性能测试

### 2.1 晶体红外光谱

掺杂 LiNbO<sub>3</sub> 晶体的红外光谱 OH 吸收峰位置能够表征晶体的缺陷结构和确定掺杂离子在 LiNbO<sub>3</sub> 中的阈值浓度. 采用 Avatar-360 型 FT-IR 红外光谱仪对 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体的红外光谱进行测试. 测试结果如图 1.

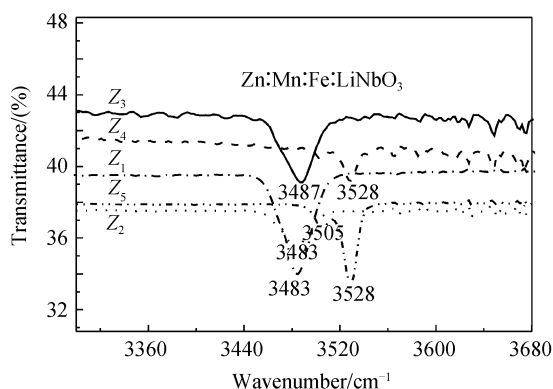


图 1 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体的红外光谱  
Fig. 1 The infrared spectra of Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals

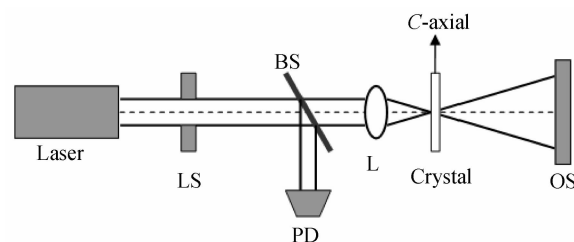
图中 Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub> 和 Z<sub>3</sub> 各只有一个 OH 吸收峰, 分别位于 3483、3483 和 3487 cm<sup>-1</sup>. Z<sub>4</sub> 和 Z<sub>5</sub> 各有二个 OH 吸收峰在 3528 和 3505 cm<sup>-1</sup>. 3483 cm<sup>-1</sup> 的振动峰是同成分 LiNbO<sub>3</sub> 晶体的标志, 3528 cm<sup>-1</sup> 的振动峰是 Zn<sup>2+</sup> 达到阈值浓度的标志, 3505 cm<sup>-1</sup> 是

Fe<sup>3+</sup> 取代 Nb<sup>5+</sup> 形成 Fe 的标志<sup>[7-8]</sup>.

OH 吸收峰移动的机理: 同成分 LiNbO<sub>3</sub> 晶体 Li/Nb=0.94, Li<sup>+</sup> 离子数量比 Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup> 少, 为了保持电中性, Nb<sup>5+</sup> 离子占据 Li<sup>+</sup> 位, 形成反位铌 Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup> 和锂空位 V<sub>Li</sub> 两种本征缺陷. 锂空位带负电荷, 它吸引 H<sup>+</sup> 形成了 3V<sub>Li</sub>Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup>OH 基团, 振动在 3482 cm<sup>-1</sup> 附近. 在 LN 中掺进 Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup> 和 Mn<sup>3+</sup>, 它们取代 Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup>, 分别以 Zn<sub>Li</sub><sup>+</sup>, Fe<sub>Li</sub><sup>+</sup>, Fe, Mn 和 Mn<sub>Li</sub><sup>2+</sup> 形式存在, 它们对 H<sup>+</sup> 起排斥作用, H<sup>+</sup> 仍然振动在锂空位 V<sub>Li</sub> 附近. 当 Zn<sup>2+</sup> 浓度进一步增加, Zn<sup>2+</sup> 继续取代 Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup>, V<sub>Li</sub> 浓度减少, 此时形成 2V<sub>Li</sub>Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup>OH 缺陷基团, 振动在 3487 cm<sup>-1</sup>. 当 Zn<sup>2+</sup> 完全取代 Nb<sub>Li</sub><sup>4+</sup> 开始取代 Nb<sup>5+</sup>, 并将 Fe<sup>3+</sup> 排斥到 Nb<sup>5+</sup> 位, 分别以 Zn 和 Fe 形式存在. Zn 和 Fe 比锂空位对 H<sup>+</sup> 具有更强的吸引力, OH 吸收光子受激振动需要更高的能量. 所以吸收峰发生紫移. ZnOH 和 FeOH 缺陷基团分别振动在 3528 和 3505 cm<sup>-1</sup> 附近. 以上的分析得到: Z<sub>1</sub> 和 Z<sub>2</sub> 的 OH 吸收峰位于 3483 cm<sup>-1</sup>, Z<sub>3</sub> 的 OH 吸收峰位于 3487 cm<sup>-1</sup>, Z<sub>4</sub> 和 Z<sub>5</sub> 的 OH 吸收峰分别位于 3528 和 3505 cm<sup>-1</sup>.

### 2.2 晶体的抗光损伤能力

采用透射光斑变形法测试 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤能力, 实验装置的示意图如图 2.



LS: Diaphragm; PD: Detector; BS: Beam splitter;  
L: Lens; OS: Screen Laser; Kr<sup>+</sup> Laser

图 2 抗光损伤能力测试装置

Fig. 2 Experimental set-up figure of the optical damage resistance measurement

以氩离子激光器作光源, 波长为 476 nm, 采用不同焦距的透镜改变光斑直径, 激光光束经过调节光束直径的光阑和透镜后, 聚焦于晶体上. 透过晶体的光束功率较低时, 在光屏上为一圆形斑, 晶体没有产生光损伤. 当透过晶体的功率密度达到一定值时, 透射光斑开始变形<sup>[9-11]</sup>, 光斑沿 C 轴拉长. 透射光斑开始变形时的激光功率密度定义为晶体抗光损伤能力. 测试结果如表 1.

表 1 晶体抗光损伤能力  $K$

Table 1 Optical damage resistance  $K$  of crystals

| Crystal               | $Z_1$             | $Z_2$             | $Z_3$             | $Z_4$             | $Z_5$             | LiNbO <sub>3</sub> |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| $K/(W \cdot cm^{-2})$ | $1.2 \times 10^3$ | $1.8 \times 10^3$ | $5.3 \times 10^4$ | $6.4 \times 10^4$ | $7.2 \times 10^4$ | $6.2 \times 10^3$  |

$Z_4$  和  $Z_5$  的抗光损伤能力比 LiNbO<sub>3</sub> 晶体提高二个数量级以上。

2.3 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体抗光损伤能力增强机理

在 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体中存在锂空位  $V_{Li}$  和反位铌  $Nb_{Li}^{4+}$  两种本征缺陷和  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}/Mn^{3+}$ ,  $Nb_{Li}^{4+}/Nb$  三种光折变敏感中心, 使 Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体具有很高的光折变性能. 在 Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体掺进抗光折变杂质 ZnO,  $Zn^{2+}$  取代反位铌  $Nb_{Li}^{4+}$ , 折射率变化降低, Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体的折射率变化可以用 Scalar 表达式来描述, 即

$$\delta\Delta n \approx \frac{Rj_{ph}}{\sigma} \approx \frac{Rk\alpha I}{\sigma_d + \sigma_{ph}} \quad (1)$$

式中  $R$  为广义电光系数,  $J_{ph}$  为光伏特电流,  $\sigma_d$  为暗电导,  $\sigma_{ph}$  为光电导,  $\sigma_d \ll \sigma_{ph}$ ,  $I$  为总光强,  $K$  为光生伏特 Glass 常量,  $\alpha$  为光学吸收系数,  $R, K, \alpha, I, \sigma_d$  在光折变变化中变化值很小或等于常量, 因此

$$\delta\Delta n \sim 1/\sigma_{ph} \quad (2)$$

当  $Zn^{2+}$  浓度较低时,  $Zn^{2+}$  取代  $Nb_{Li}^{4+}$ ,  $Nb_{Li}^{4+}$  数量减少, 光电导  $\sigma_{ph}$  增加, 折射率变化  $\delta\Delta n$  减小, 晶体抗光损伤能力增加. 随着  $Zn^{2+}$  浓度增加,  $Zn^{2+}$  达到阈值浓度时,  $Zn^{2+}$  完全取代  $Nb_{Li}^{4+}$  并且将  $Fe^{3+}$  驱赶到  $Nb^{5+}$  位, 以  $Fe_{Nb}^{2+}$  形式存在,  $Fe_{Nb}^{2+}$  俘获电子能力急剧下降, 光电导进一步增加. 由于

$$\sigma_{ph} \sim 1/Nb_{Li}^{4+} \quad (3)$$

$$\sigma_{ph} \sim 1/Fe^{3+} \quad (4)$$

$\sigma_{ph}$  急剧增加,  $\delta\Delta n$  急剧下降晶体抗光损伤能力急剧增加。

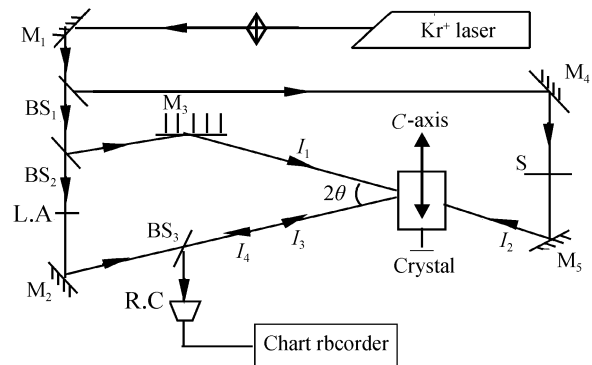
2.4 晶体的位相共轲性能

利用光折变晶体简并四波混频实现光波的位相共轲, 是光折变非线性光学的重要课题. 人们在多种光折变介质中实现了位相共轲效应并对其进行大量研究. 利用光折变晶体实现位相共轲, 在光计算中可消除由于光学元件传输造成光波的位相畸变. 光折变晶体位相共轲在光学信息处理和光计算的应用引起普遍的关注. 因此位相共轲广泛应用于实时适应光学, 光学信息处理, 光学计算机和消除光波位相畸变。

2.4.1 晶体位相共轲性能

位相共轲波是一种非线性光学效应, 光与非线性介质作用, 准确反转任意光束每个平面波分量的

传播方向和整个相位因子, 这种与原有的光束传播方向相反, 而复数振幅又与之共轲的新波场, 就是原光波的共轲波. 由于光折变晶体具有实时性、灵敏度高等优点, 用光折变晶体的位相共轲在光学信息处理和光计算中有着广泛的应用前景. 简并四波混频是获得光学位相共轲的一种简便方法, 本文采用简并四波混频光路测试 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体位相共轲效应, 测试光路如图 3。



$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$ : Reflect mirror;  $BS_1, BS_2, BS_3$ : Beamsplitter; R. C.: Optical cell; L. A.: Attenuator; S: Shutters;  $I_1, I_2$ : Pumping light intensity;  $I_3$ : Phase conjugate light intensity;  $I_4$ : Signal light intensity

图 3 简并四波混频光路图

Fig. 3 The degenerate four wave mixing

$I_1$  和  $I_2$  是反向共线传播的两束泵浦光,  $I_4$  是入射的信号光,  $I_3$  是  $I_4$  的位相共轲光. 此时掺杂 LiNbO<sub>3</sub> 晶体就构成了一个位相共轲反射镜. 位相共轲反射率  $R$  定义为位相共轲光强对信号光强之比, 即:  $R = (I_4/I_3) \times 100\%$ . 实验中以氪离子激光器作光源, 输出波长为 476 nm, 偏振方向在入射平面内 (e 光). 泵浦光强  $I_1 = 625 \text{ mW/cm}^2$ ,  $I_2 = 589 \text{ mW/cm}^2$ , 快门 S 控制泵浦光强, 光强衰减器 L. A 用以改变入射探测光强 (信号光强)  $I_3$ , 即调节泵浦信号比  $\beta = I_1/I_3$ . 位相共轲性能测试结果如表 2。

表 2 Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> 晶体位相共轲性能测试结果  
Table 2 The experiment results of the phase conjugate properties of Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals

| Crystal | $R/(%)$ | $\tau/S$ |
|---------|---------|----------|
| $Z_1$   | 348     | 620      |
| $Z_2$   | 354     | 730      |
| $Z_3$   | 170     | 122      |
| $Z_4$   | 85      | 79       |
| $Z_5$   | 78      | 62       |

### 2.4.2 Zn:Mn:Fe:LiNbO<sub>3</sub> 晶体的位相共轭镜消除光波的位相畸变

为验证位相共轭镜的位相共轭效应,在入射的探测光路中放置一位相畸变介质见图 3,探测光强  $I=220 \text{ mW/cm}^{-1}$  ( $2\theta=24^\circ$ ). 图 4(a)是探测光波在畸变介质前的光强分布图样,图 4(b)是探测光波经过位相畸变介质后的光强图样,图 4(c)是给位相共轭镜输出的位相共轭波. 实验结果表明此装置的输出光波确系输入探测光波的位相共轭光波.

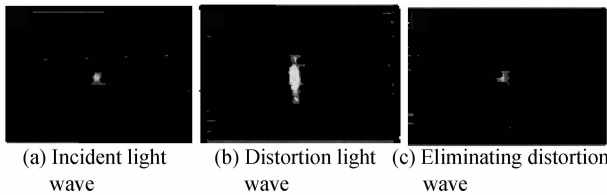


图 4 位相共轭波消除畸变实验结果(1)

Fig. 4 The conjugate properties wave eliminate distortion phase experiment results

输入图像为一带 X Y 的输入透明片,位相共轭镜的反射保真度及消除位相畸变的能量是重要的指标,利用位相共轭镜消除的位相畸变,在入射的探测光路图中放置一幅位相畸变介质如图 5 所示带有 X Y 的输入透明片图 5(a),经过畸变介质的部分寻址图像图 5(b),输出无畸变图像图 5(c).

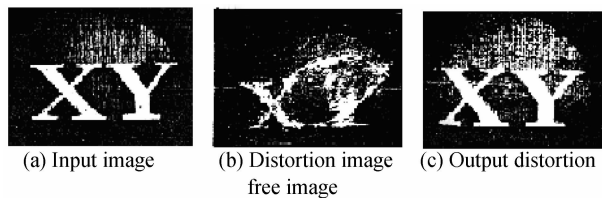


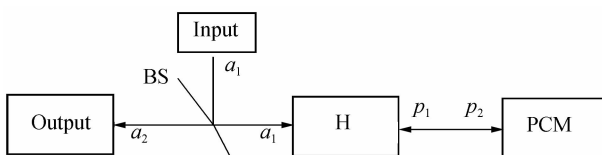
图 5 位相共轭波消除畸变实验结果(II)

Fig. 5 The conjugate properties wave eliminate distortion phase experiment results

## 3 晶体的全息关联存储

### 3.1 全息关联存储工作原理

实时全息关联存储原理如图 6.



BS: Beam splitter; H: Storage element; PCM: Phase conjugate mirror;  $P_1, P_2$ : Pumping light intensity;  $a_1$ : Signal light intensity;  $a_2$ : Phase conjugate light intensity

图 6 全息关联存储原理

Fig. 6 The principle setup of holographic associative memory

这种关联存储的实现是通过全息和相位共轭两种技术组合而成的,首先物光  $O_i$  和参考光  $R_i$  以一定角度汇聚于记录介质上<sup>[12]</sup>,发生干涉形成全息图.

$$\Delta n = \sum_{i=1}^N (O_i R_i + O_i^* R_i + c) \quad (5)$$

式中  $c$  为常量,  $N$  为信息存储数. 当用某个  $O_i$  中的一部分信息  $O_i$  从原输入处去寻址时,根据有关的全息理论,衍射波复振幅  $W$  的特点为

$$W \propto O_i^* \Delta n = O_i^* \sum_{j=1}^N (O_j R_j^* + O_j^* R_j + C) = O_i^* O_j R_j^* + O_i^* O_j^* R_j + O_i^* \sum_{j \neq i} (O_j R_j^* + O_j^* R_j + C) \quad (6)$$

寻址图像与存储图像的相关程度越大,由于相位共轭镜的反向共轭和增益作用,只有相关程度最大的一级衍射光经相位共轭镜作用后,形成有效的反向共轭光  $R_i^*$  沿原光路返回,入射于记录介质  $\Delta n$  出射的光为输出光的信息

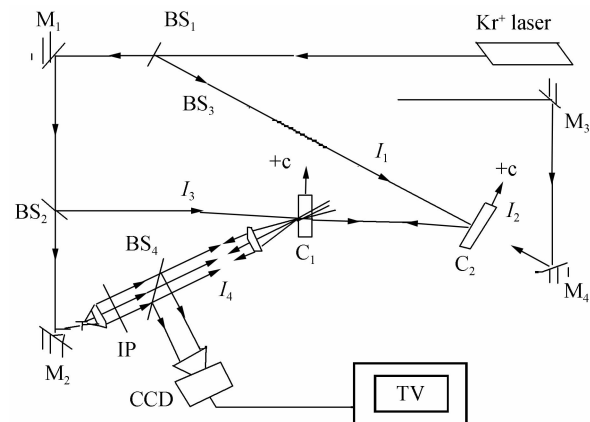
$$(O_i^* \otimes O_i) R_i^* \Delta n = (O_i^* \otimes O_i) R_i^* O_i^* R_i + \sum_{j \neq i} (O_i^* \otimes O_j) \times O_j \quad (7)$$

$$(O_i^* \otimes O_i) R_i^* O_i^* R_i \propto (O_i^* \otimes O_i) O_i^* \propto O_i^* \quad (8)$$

可见输出图像由寻址图像与存储图像的相关程度决定的,输出图像是原存储图像的相位共轭象.

### 3.2 全息关联存储实验

实验光路图如 7.



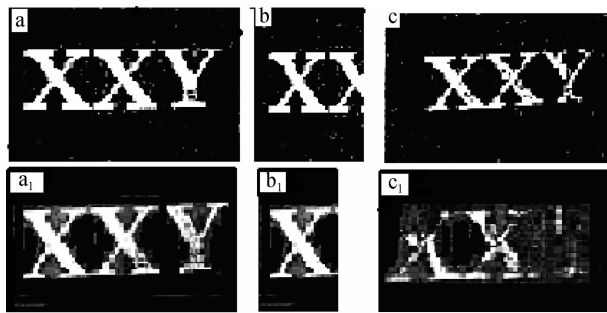
M: Reflect mirror; BS: Beam splitter; IP: Input plane;  $C_1$ : Record crystal;  $C_2$ : Phase conjugate mirror

图 7 采用四波混频位相共轭镜的关联存储实验光路

Fig. 7 The schematic diagram of associative memory with four-wave mixing

光源是工作在 476 nm 波长的氪离子激光器,其偏振方向平行入射平面(e 光),在记录过程中用一束准直平行光波照明输入平面. 被存储的物体是印有英文的 XXY 的透明片和联想透明片,原始图像在焦距  $f=308 \text{ mm}$  的傅里叶透镜前面.

实验中用  $Z_2$  晶体作存储元件,用  $Z_1$  晶体位相共轭镜作为阈值,增益反馈系统. 实验中存储物的参考光与物光的夹角  $2\theta_1=14.0^\circ$ ,光束比为 1:1,存储物见图 8(a), ( $a_1$ ). 泵浦光强  $I_1=212.0 \text{ mW/cm}^2$ ,  $I_2=142.0 \text{ mW/cm}^2$ ,  $2\theta_2=14.5^\circ$ . 记录时间为 20 s, 当以存储物的 50% 和存储物的 25%, 寻址见图 8(b), ( $b_1$ ) 在输出平面上接收到较完整的存储图像见图 8(c), ( $c_1$ ).



(a),(a<sub>1</sub>) Input image, (b),(b<sub>1</sub>) Input addressing image,  
(c),(c<sub>1</sub>) Read- out image

图8 全息关联存储实验结果

Fig. 8 Experimental result of holographic associative memory

## 4 结论

采用提拉法生长含有不同浓度  $Zn^{2+}$  的  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体. 研究  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体结构和缺陷结构. 测试  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体 OH 红外吸收光谱.  $Z_4$  和  $Z_5$  的 OH 吸收峰在  $3528\text{ cm}^{-1}$ .  $3528\text{ cm}^{-1}$  OH 吸收峰是  $Zn^{2+}$  浓度达到阈值的标志.  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体 OH 吸收峰的位置与晶体本征缺陷反位铌 Nb 和锂空位 V 有关. 通过 OH 红外吸收光谱能够确定  $Zn^{2+}$  和  $Fe^{3+}$  在  $LiNbO_3$  晶体的占位. 能够确定  $Zn^{2+}$  的阈值浓度. 测试  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  抗光损伤能力.  $Zn^{2+}$  取代 Nb, Nb 浓度下降导致光电导增加, 晶体抗光损伤能力增加, 即随着  $Zn^{2+}$  浓度增加,  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  抗光损伤能力增加. 当  $Zn^{2+}$  浓度达到阈值浓度,  $Zn^{2+}$  完全取代 Nb, 光电导快速增加,  $Zn^{2+}$  开始取代  $Nb^{5+}$ , 形成 Zn, 并将  $Fe^{3+}$  排挤到 Nb 位形成 Fe,  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体抗光损伤能力比同成分  $LiNbO_3$  晶体提高两个数量级. 采用四波混频光路测试  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体位相共轭反射率和位相共轭响应时间, 随着  $Zn^{2+}$  浓度增加位相共轭反射率降低, 位相共轭响应速度增加.  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体位相共轭镜消除了畸变介质的位相畸变. 为了获得阈值、反馈和增益, 采用  $Z_2$  作位相共轭镜,  $Z_1$  作为全息存储元件, 形成光折变位相光栅, 记录多重全息图. 我们结合全息图和位相共轭技术, 去形成全光中性网络实现全息关联存储. 系统设计最重要优点是如果输出容量是充分的不管包含一些错误, 由于采用容量寻址存储, 原有图象能正确的和完全地恢复. 系统快速响应和图象是完整的和没有畸变. 当含有 25% 和 50% 原

信息的图象寻址时, 能读出完整的图象,  $Zn : Mn : Fe : LiNbO_3$  晶体是优良的全息存储介质材料.

## 参考文献

- [1] BUSE K, ADIBI A, PSALTIS D. Non-Volatile holographic storage in doubly doped lithium niobate crystals[J]. *Nature*, 1998, **393**(18): 665-668.
- [2] ZEN X H, LI H T, SUN Z J. Defect structure and optical damage resistance of  $Mg : Mn : Fe : LiNbO_3$  crystals[J]. *Phys D: Appl Phys*, 2004, **37**: 634-637.
- [3] LUO Su-hua, SUN Xiu-dong, SHI Hong-xin. Defect structure and optical damage resistance of  $In : Fe : Cu : LiNbO_3$  crystals[J]. *Journal of Modern Optics*, 2009, **56**(1): 115-119.
- [4] LI Ming-hua, JIA Xiao-lin, QIANG Liang-sheng, et al. Characteristics of holographic memory and phase conjugate of  $Ce : Fe : LiNbO_3$  crystal[J]. *Acta Optica Sinica*, 1993, **13**(3): 229-232.  
李铭华, 贾晓林, 强亮生, 等.  $Ce : Fe : LiNbO_3$  晶体的全息存储和位相共轭特性的研究[J]. *光学学报*, 1993, **13**(3): 229-232.
- [5] LI Ming-hua, GAO Yuan-kai, JIA Xiao-lin. Characteristics and application of phase conjugate mirror of  $Ce : Eu : LiNbO_3$  crystal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 1994, **23**(4): 293-296.  
李铭华, 高元凯, 贾晓林, 等.  $Ce : Eu : LiNbO_3$  晶体的位相共轭性能及其应用研究[J]. *光子学报*, 1994, **23**(4): 293-296.
- [6] JIN Guang-hai, LI Ming-hua, SUN Guang-rao, et al. Growth of  $Ce : LiNbO_3$  crystal and research of phase conjugation[J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 1992, **21**(4): 362-365.  
金光海, 李铭华, 孙光跃, 等.  $Ce : LiNbO_3$  晶体的生长及其位相共轭效应[J]. *人工晶体学报*, 1992, **21**(4): 362-365.
- [7] XU Z, XU S, ZHANG J. Growth and photorefractive properties of  $In : Fe : LiNbO_3$  crystals with various  $[Li/Nb]$  ratios[J]. *J Cryst Growth*, 2005, **280**: 227-233.
- [8] SUN L, WANG J, LV Q. Defect structure and optical damage resistance of  $In : Mg : Fe : LiNbO_3$  crystals with various  $Li/Nb$  ratios[J]. *J Cryst Growth*, 2006, **297**: 199-203.
- [9] YANG Chun-hun, XU Yan-bo, YANG Rui, et al. Research on photorefractive properties of near stoichiometric  $Ce : Mn : LiNbO_3$  crystals[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(5): 909-911.  
杨春辉, 许艳波, 王锐, 等. 近化学计量比  $Ce : Mn : LiNbO_3$  晶体光折变性能研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(5): 909-911.
- [10] LUO Su-hua, WANG Jian, SHI Hong-xin, et al. Dual-wavelength nonvolatile recording in  $LiNbO_3 : In : Fe : Cu$  crystals[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(7): 1675-1678.  
骆素华, 王键, 石宏新.  $LiNbO_3 : In : Fe : Cu$  晶体中的双波长非易失存储[J]. *光子学报*, 2009, **38**(7): 1675-1678.
- [11] HE Li-li, DAI Li, XU Yu-heng. Effect and influence of  $Mg^{2+}$  on photorefractive properties of  $Ce : Fe : LiNbO_3$  crystals[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8): 1418-1421.  
何丽娟, 代丽, 徐玉恒.  $Mg^{2+}$  对  $Ce : Fe : LiNbO_3$  晶体光折变性能的作用和影响[J]. *光子学报*, 2007, **36**(8): 1418-1421.
- [12] 杨昌喜. 利用掺杂  $LiNbO_3$  实现实时关联存储[D]. 天津: 南开大学, 1989.

## Phase Conjugation Properties and Holographic Associative Storage of Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> Crystals

ZHANG Chun-lei<sup>1</sup>, XU Chao<sup>2</sup>, FAN Ye-xia<sup>3</sup>, LENG Xue-song<sup>2</sup>, XU Lei<sup>2</sup>,  
FANG Gui-zhen<sup>1</sup>, GUAN Cheng-xiang<sup>4</sup>, XU Yu-heng<sup>2</sup>

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

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

(3 School of Materials Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

(4 Department of Physics, Harbin Normal University, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals with 1%, 3%, 5%, 7% and 9% ZnO(in mole) and MnCO<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, added at concentration of 0.03% and 0.08 (in mass) respectively, were grown by Czochralski method from congruent LiNbO<sub>3</sub> melting. The OH<sup>-</sup> infrared absorption spectra, the optical damage resistance and phase conjugate properties of Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals were tested. When Zn<sup>2+</sup> concentration reaches 7% and 9%, OH<sup>-</sup> absorption peaks shift to 3528 cm<sup>-1</sup>. The mechanism of OH<sup>-</sup> absorption peaks shift were discussed. The optical damage resistance ability of Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals increase, with the increase of Zn<sup>2+</sup> concentration. When Zn<sup>2+</sup> concentration reaches to 7% (reaches threshold value), the optical damage resistance ability are two orders of magnitude higher than that of LiNbO<sub>3</sub> crystals. The enhancement mechanism of optical damage resistance of highly doping zinc Mn;Fe; LiNbO<sub>3</sub> crystals was researched. The phase conjugate reflectivity decreases and phase conjugate response speed increases, with the increase of Zn<sup>2+</sup> concentration. The phase conjugate mirror has eliminate optical wave phase distortion. The holographic associative storage experiment was carried out using Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals as storage medium. The working principle of holographic associative storage was discussed. Using 25% and 50% addressing, the intact storage image was received in output plane.

**Key words:** Zn : Mn : Fe : LiNbO<sub>3</sub> crystals; Phase conjugation properties; Holographic associative storage