

Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体的全息存储特性的研究*

李铭华 王家昌 许克彬 徐玉恒

韩爱珍

(哈尔滨工业大学应用化学系, 哈尔滨 150001)

(哈尔滨工业大学控制工程系, 哈尔滨 150001)

提要 报道了 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体的生长,研究了晶体的衍射效率、存储时间、图像质量等全息存储性能。用 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体作记录介质,实现了实时关联存储。

关键词 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体,衍射效率,关联存储

1 引言

光折变晶体作为光学全息存储材料,具有存储容量大、灵敏度高、可实时处理和并行处理等优点,其中 Fe : LiNbO₃ 晶体的全息存储性能已获得广泛应用^[1,2],但是它也还存在一些问题,如光散射现象严重、图像质量欠佳等。本文报道了我们研制的 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体的全息存储性能,与 Fe : LiNbO₃ 相比,它的图像质量有很大改善,衍射效率可达 85% 以上。用 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体作记录介质,实现了实时关联存储。

2 样品制备

2.1 原料配比

所用原料 Nb₂O₅、Li₂CO₃、CeO₂ 和 Ho₂O₃ 的纯度均为 99.99%,LiNbO₃ 采用固液同成分配比 Li/Nb=0.946,熔体中掺杂剂浓度均为 10⁻³ mol。

2.2 晶体生长工艺

晶体采用提拉法从熔体中生长,考虑到掺杂晶体的生长特点,采用了大温梯、慢拉速、平坦固液界面等工艺。生长 ϕ 30 mm 的晶体,选择轴向温度梯度为液面上 -40 °C/cm,液面下 15 °C/cm,提拉速度 ~1 mm/h,旋转速度开始稍快,约为 25 r/min,而后逐渐减慢至约 17 r/min,保证在晶体生长过程中固液界面平坦。用上述工艺条件生长的晶体,不出现网络结构等缺陷,光学质量优良。

LiNbO₃ 晶体是铁电体,刚生长出的晶体是多畴的,必须进行人工极化,才能变为单畴晶体。极化在 1200 °C 进行,直流电场 5 mA/cm²。

* 国家自然科学基金和航天基金资助项目。

收稿日期: 1995年3月7日; 收到修改稿日期: 1995年7月19日

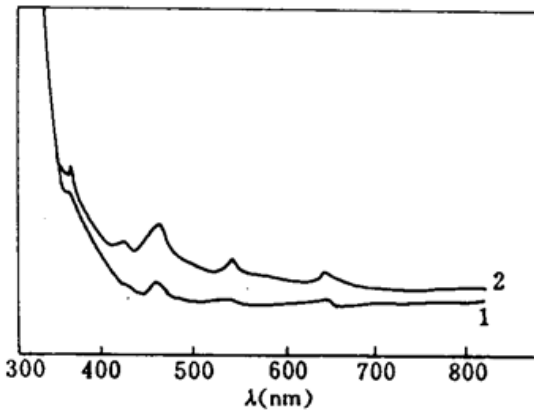


Fig. 1 Absorption spectra of crystals
1, before reduction; 2, after reduction

2.3 还原后处理

还原能增加晶体的光折变灵敏度, $Ce : Ho : LiNbO_3$ 的还原后处理是在 Li_2CO_3 粉末中进行的^[3], 将 $10 \times 10 \times 2$ (mm) 的样品埋入 Li_2CO_3 粉末中, 于 $500^\circ C$ 恒温 24 h, 还原处理后晶体由淡黄色变为粉红色, 吸收光谱显示晶体此时在 500 nm 附近的一个宽带吸收更为明显, 如图 1 所示。

还原的结果, 增大了晶体中电子施主的浓度, 如 Ce^{3+} 等^[4], 从而增大了光折变灵敏度。

3 全息存储特性研究

3.1 衍射效率

衍射效率是反映全息记录光栅是否完美的重要参数。在如图 2 所示的二波耦合光路中, 二束光以 2θ 角入射在光折变晶体 $Ce : Ho : LiNbO_3$ 上, 在晶体中形成折射率光栅。当光栅形成之后, 挡住其中一束光, 则可测出另一束光的衍射效率。衍射效率 η 的定义为衍射光强与光栅不存在时的透射光强之比, 即 $\eta = I_2/I_2 \times 100\%$ 。

He-Ne 激光器输出波长为 632.8 nm, 偏振方向在入射平面内。 $I_{10} = I_{20} = 3.12 W/cm^2$, 衍射效率 η 随 2θ 角的变化关系曲线如图 3 所示, 当 $2\theta = 9^\circ$ 时, $\eta_{max} = 85\%$ 。

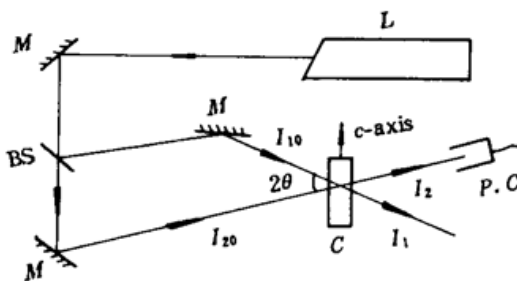


Fig. 2 Experimental setup of two-beam coupling configuration

L: He-Ne Laser; M: reflector; BS: beam splitter; C: crystal; P. C: photocell

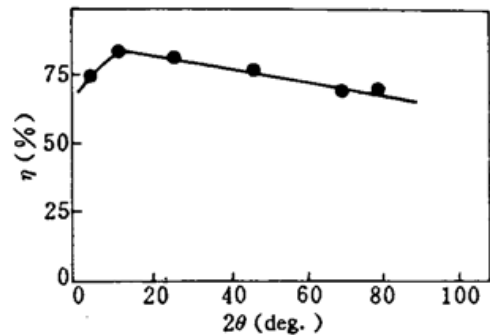


Fig. 3 Experimental curve of $\eta-2\theta$

3.2 存储时间

$Fe : LiNbO_3$ 晶体的存储时间大约为几个月, $Ce : Ho : LiNbO_3$ 晶体中所记录的全息光栅, 在暗处也可以保留几十天, 衍射效率没有明显下降。如果采用热固定技术, 则晶体的存储时间可以进一步延长。

3.3 图像质量

光折变晶体由于存在杂质、缺陷等不完美, 因此会发生光散射现象, 在晶体记录全息光栅的同时, 产生“噪音”光栅, 这些“噪音”光栅则引起了晶体内所存储的全息图像的畸变^[5], $Fe : LiNbO_3$ 晶体的这种光散射现象较为严重。 $Ce : Ho : LiNbO_3$ 晶体中, 这种光致散射现象要弱得多, 使得所存储的图像再现较为清晰, 畸变小, 在如图 2 所示的光路中, 用照相底片取代光电池进行接收, 可获得由于晶体光致散射造成的畸变光斑, 如图 4 所示。 $Ce : Ho : LiNbO_3$ 中由于

Ce 和 Ho 两种离子在晶体中可能产生某种体积或电荷的补偿作用,从而减小了晶格畸变,使“噪音光栅”受到抑制。



Fig. 4 The quality of the output light spots from the crystals
(a) input spot; (b) Fe:LiNbO₃; (c) Ce:Ho:LiNbO₃

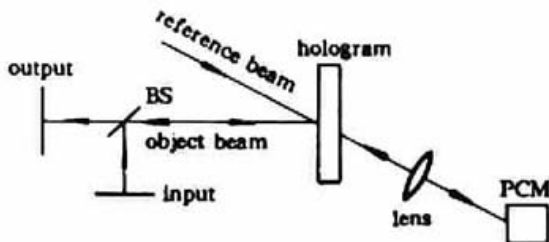


Fig. 5 The light-path schematic showing the principle of an associative memory

4 实时关联存储实验

4.1 原理

如图 5 所示,这种关联存储的实现是通过全息和位相共轭两种技术结合而成的^[6]。图中的物光 O_i 和参考光 R_i 以一定的夹角入射于全息记录介质上,发生干涉形成全息图 Δn 。

$$\Delta n \propto \sum_{j=1}^N (O_j R_j^* + O_j^* R_j + C)$$

式中 C 是常数, N 是存储信息数, O_j 和 R_j 为记录第 j 个全息图的物光和参考光光场; Δn 为晶体中记录的傅里叶全息图的通过率。

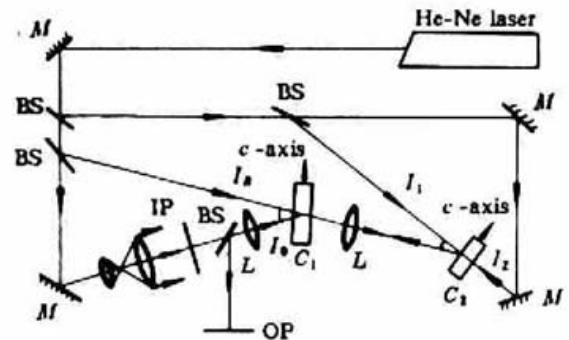
当用 N 个信息中的一个信息 O_i 的一部分 O_i' 从原输入处去寻址时,其衍射波复振幅^[7,8]

$$\begin{aligned} W &\propto O_i' \Delta n = O_i' \sum_{j=1}^N (O_j R_j^* + O_j^* R_j + C) \\ &= O_i' O_i R_i^* + O_i' O_i^* R_i + O_i' \sum_{j \neq i} (O_j R_j^* + O_j^* R_j + C) \end{aligned}$$

上式中第二项是寻址光通过全息图后形成的一级衍射光,它由参考光与寻址图像和存储图像相关输出的卷积运算形成的,即 $(O_i' * O_i) * R_i$ 。此项寻址图像与存储图像的相关程度最大,衍射光强度也最大,其它项的相关程度和衍射光强度都远小于此项。由于位相共轭镜的取阈作用,仅有一级衍射光经位相共轭镜的作用后,形成反向的位相共轭光,沿原路返回,此光入射于全

Fig. 6 Experimental setup of the associative memory

H-N₁: He-He laser; M_1 : reflector; BS_1 : beam splitter;
 L_1 : lens; IP_1 : input plane; OP_1 : output plane;
 C_1 : Ce:Ho:LiNbO₃ as holographic storage medium;
 C_2 : Fe:LiNbO₃ as PCM



息图 Δn 进行寻址,其衍射场为

$$(O_i' * O_i) R_i^* \Delta n = (O_i' * O_i) R_i^* O_i^* R_i + \sum_{j \neq i} (O_i' * O_i) * O_j$$

输出光的信息为 $(O_i' * O_i) R_i^* O_i^* R_i \propto (O_i' * O_i) O_i^* \propto O_i^*$

由上式可见,输出图像是由寻址图像与存储图像的相关程度决定的,其中相关程度最大的图像作为与寻址图像最相似的被提取出来,输出的图像是此图像的位相共轭像。

4.2 实 验

以 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体作全息存储介质,另一块光折变晶体 Fe : LiNbO₃ 作位相共轭镜,实验装置如图 6 所示。

实验开始,首先参考光 I_R 和物光 I_o 以 $2\theta_1 = 13^\circ$ 的夹角将存储图像[图 7(a)]记录在存储介质 Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体中,然后挡住 I_R ,以存储的一部分[图 7(b)]作为寻址图像,置于输入平面上进行寻址,其衍射光与二束泵浦光 I_1 、 I_2 在位相共轭镜上 Fe : LiNbO₃ 组成四波混频组态,经过取阈后产生的位相共轭光沿衍射光原路返回,作为全息图的反向读出光,再现出原存储图像,在输出平面上接收,实验结果如图 7(c) 所示。

由以上实验结果可见,Ce : Ho : LiNbO₃ 晶体具有优良的全息存储性能,作为全息记录介质,其关联存储再现图像完整清晰,噪音小。



Fig. 7 Result of the associative memory

(a) input image; (b) input addressing image; (c) read-out image

参 考 文 献

- 1 W. J. Burke, D. L. Staebler, W. Phillips *et al.*. Volume phase holographic storage in ferroelectric crystals. *Opt. Eng.*, 1978, 17(4) : 308~316
- 2 王天及,范少武,徐良瑛等. 用 Fe : LiNbO₃ 的实时散斑错位干涉仪. *中国激光*, 1986, 13(5) : 306~309
- 3 W. Phillips, D. L. Staebler. Control of the Fe²⁺ concentration in iron-doped lithium niobate. *J. Electr. Mater.*, 1974, 3(2) : 601~617
- 4 Jin Chen, Li Minghua, Sun Sangwen. Study on the photorefractive effect in reduced Tb : Fe : LiNbO₃ crystal. *Proc. SPIE*, 1994, 2321 : 722~723
- 5 许克彬,徐海英,祝桂芝. 光折晶体 Fe : LiNbO₃ 中的光致散射效应. *中国激光*, 1989, 16(9) : 532~535
- 6 B. H. Soffer, G. J. Dunning, Y. Owechko *et al.*. Associative holographic memory with feedback using phase conjugative mirrors. *Opt. Lett.*, 1986, 11(2) : 112~114
- 7 R. J. 科利尔, C. B. 伯克哈特, L. H. 林. 光全息学. 北京: 机械工业出版社, 1983. 218~240
- 8 于美文, 张静方. 全息显示技术. 北京: 科学出版社, 1989. 66~92

Study on the Holographic Storage Properties of Ce : Ho : LiNbO₃ Crystal

Li Minghua Wang Jiancang Xu Kebin Xu Yuheng

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

Han Aizhen

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

Abstract In this paper the growth of Ce : Ho : LiNbO₃ is reported. The holographic storage properties such as the diffractive efficiency, the storage time, and the quality of the stored image were studied. Using Ce : Ho : LiNbO₃ crystal as the storage medium the real time associative memory was realized.

Key words Ce : Ho : LiNbO₃ crystal, diffractive efficiency, associative memory