

# 泵浦光调制对 Ce:KNSBN 光折变晶体全息存储质量的改善\*

郭庆林 李盼来 张金平 刘峰 哈艳 傅广生

(河北大学物理科学与技术学院, 保定 071002)

尚勇

(河北省自然科学基金委员会, 石家庄 050021)

**摘要** 实验研究了泵浦光斩波、斩波占空比、斩波频率对两波耦合过程及光扇噪声的影响, 结果说明斩波调制抑制了光扇噪声, Ce:KNSBN 晶体体全息存储再现图像质量得到明显改善.

**关键词** 光折变; 光扇; 体全息存储; 再现性改善

**中图分类号** O438.1 **文献标识码** A

## 0 引言

光折变体全息存储因存储容量大、存取时间短、可擦重写、实时性强等特点, 而具有诱人的应用前景<sup>[1]</sup>. 近年来光折变材料在全息存储领域得到实际应用, 如: 李晓春等人利用 Fe-LiNbO<sub>3</sub> 光折变晶体实现了 1000 幅数字图像的体全息存储与恢复<sup>[2]</sup>; 忽满利等人实现了低噪声光折变体全息存储<sup>[3]</sup>. 但是作为存储介质, 光折变晶体中的缺陷和杂质在不均匀光照下会导致“扇形”散射光即“光扇”现象, 尽管这部分扇形散射光的能量较小, 但由于光折变晶体内部的耦合作用, 这部分光与入射光耦合后会被放大, 消耗部分记录光的能量, 降低有用信息的记录强度, 同时一部分扇形散射光与信息光束的传播方向相同, 这部分光在存储过程中也被记录了下来, 再现时再现的散射光与再现像叠加在一起, 影响了再现图像的质量<sup>[4,5]</sup>, 所以如何抑制“光扇”对存储图像的影响是光折变全息存储领域的一个重要研究课题. 目前已经提出了多种“光扇”抑制方法, 如非相干光擦除<sup>[6]</sup>, 弱光写入和强脉冲读出<sup>[5]</sup>等. 本文提出用斩波调制的方法抑制 Ce:KNSBN 光折变晶体两波耦合记录过程中的光扇效应, 因为一般情况下两波耦合实验中泵浦光较强, 光扇的影响比较明显, 而信号光较弱其光扇效应可以忽略, 所以实验在泵浦光斩波条件下进行, 结果表明有效地降低了光扇对光折变晶体 Ce:KNSBN 体全息存储质量的影响, 改善了读出图像的再现性.

## 1 实验装置与方法

图 1 为两波耦合实验装置. He-Ne 激光器输出的 632.8 nm 光波被分光棱镜 BS 分为两束. 一束由反射镜 M<sub>1</sub> 反射, 经半波片 HWP<sub>1</sub> 和偏振片 P<sub>1</sub> 入射到 Ce:KNSBN 光折变晶体 (5 mm × 5 mm × 5 mm, c 为晶体光轴方向) 上作为泵浦光 I<sub>p</sub>; 另一束由反射镜 M<sub>2</sub> 反射, 经半波片 HWP<sub>2</sub> 和偏振片 P<sub>2</sub> 对称地入射到晶体上作为信号光 I<sub>s</sub>. 功率计 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 记录透射光 I<sub>s</sub> 和 I<sub>p</sub>, 并送计算机进行处理, I<sub>s</sub> 和 I<sub>p</sub> 为 e 偏振光, 光强由半波片调节. 实验中用斩波器 (Chopper) 对泵浦光进行调制. 为了进行图像存储与读出实验, 用图 2 代替图 1 中信号光记录部分: 由空间滤波器 (Spatial filter) 和透镜 L<sub>3</sub> 获得的均匀平行光束照射傅里叶透镜 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> (f = 300 mm) 构成的 4f 系统, 其中晶体位于 4f 系统的频谱面上. 所有实验中均采用连续泵浦光对所存图像进行读出, 并由 CCD 采集接收屏上的像.

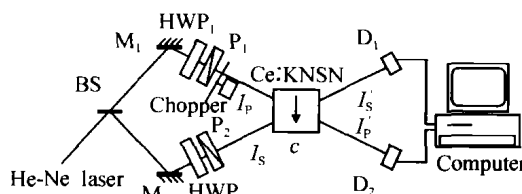


图 1 实验装置  
Fig. 1 Experimental setup

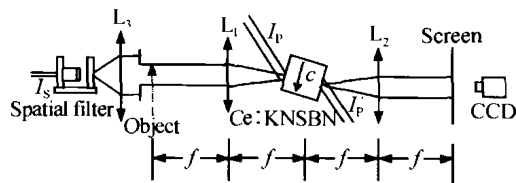


图 2 图像的存储与读出  
Fig. 2 Storage and reappearance of image

\*河北省自然科学基金 (批准号: 101059) 与河北省科技厅 (批准号: 32135104) 资助项目  
Tel: 0312-5079352 Email: qinglinguo@sina.com  
收稿日期: 2003-09-16

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 泵浦光斩波对两波耦合动态过程的影响

实验首先测量了泵浦光斩波对两波耦合动态过程的影响,斩波占空比为 1:1. 为了获得最大两波耦合增益系数,选择写入光夹角为  $31^\circ$ <sup>[7]</sup>,信号光和泵浦光强度之比  $I_s:I_p = 0.95 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}:47.75 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} = 1:50$ . 图 3 中 *a*、*b*、*c* 分别为泵浦光未斩波两波同时打开、未斩波且信号光滞后 100 s 打开、斩波(频率为 100 Hz)且信号光滞后 100 s 打开三种不同情况下两波耦合信号光透射光强的时间变化包络曲线. 可看出, *a* 曲线中信号光透射光强存在一个明显的峰值,而 *b* 曲线中信号光透射光强逐渐增大的变化趋势平缓,最大透射光强在我们测量范围内小于 *a* 的峰值,这是因为 *b* 中信号光未打开时,泵浦光的光扇噪声光栅已经得到了充分发展,消耗了泵浦光的能量,致使两波耦合达到稳定时信号光透射光强下降. *c* 曲线演化趋势与 *a* 类似也有一个明显的峰,并且峰值高度也基本相同. 分析认为,这是由于斩波抑制了泵浦光光扇噪声的发展,从而使两波耦合到达稳定时信号光透射光强增强.

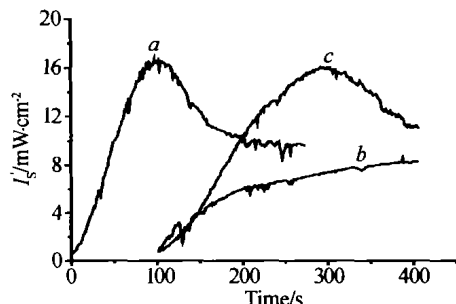


图 3 泵浦光斩波对两波耦合的影响

Fig. 3 The influence of the pump chopping to two waves coupling

### 2.2 泵浦光斩波占空比对两波耦合动态过程的影响

实验装置与条件同 2.1,图 4 中 *a*、*b*、*c* 曲线分别为同时打开  $I_s$ 、 $I_p$  情况下,泵浦光连续、泵浦光斩波占空比为 1:1、1:3 时两波耦合信号光透射光强时间变化包络曲线. 由 *a* 可看出,未斩波时信号光透射光强约 100 s 达到峰值,而后迅速衰减,到 150 s 左右即趋于

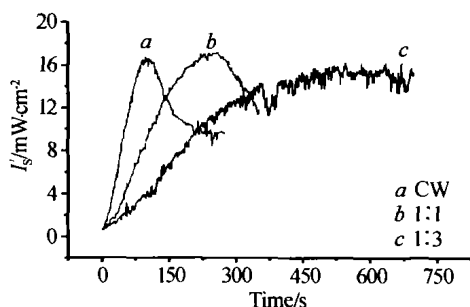


图 4 泵浦光调制占空比对信号光时间演化的影响

Fig. 4 The influence of the pump beam modulating occupation to the temporal development of signal wave

平稳,表明此时光扇对信号光能量的损耗已基本饱和;对于 *b*,虽然与 *a* 的峰值基本相同(为 *a* 的 1.03 倍),但到达峰值的时间为 200 多秒;而 *c* 中两波耦合响应时间比未加斩波时延长了 4 倍. 分析 *a*、*b*、*c* 的变化趋势可以看出,泵浦光斩波延缓了光扇的建立,同时也减缓了两波耦合响应速度.

### 2.3 泵浦光调制频率对两波耦合增益的影响

实验装置同上,由图 4 可以看出,同时打开信号光、泵浦光的情况下两波耦合信号光透射光强并未得到明显提高,但从图 3 中 *b*、*c* 曲线可以看出,信号光滞后 100 s 打开时斩波调制使两波耦合信号光透射光强得到明显提高,所以,我们在信号光滞后 100 s 打开情况下研究了斩波频率对两波耦合增益的影响,斩波占空比为 1:1. 在 0 ~ 300 Hz 范围内测量不同斩波频率下两波耦合最大增益(最大增益指透射信号光峰值之比,  $G = \frac{I_s(d)(I_p \neq 0)}{I_s(d)(I_p = 0)}$ ),结果如图 5 所示. 开始时两波耦合增益随斩波频率的增加而增加,当频率达到 100 Hz 时,增益最大值为 24,而后随斩波频率的增加,两波耦合增益系数逐渐减小. 分析认为,增益最大值的存在是因为泵浦光斩波频率为 100 Hz 时,光扇噪声得到了最佳抑制,减弱了对泵浦光能量的损耗,致使两波耦合增益最大.

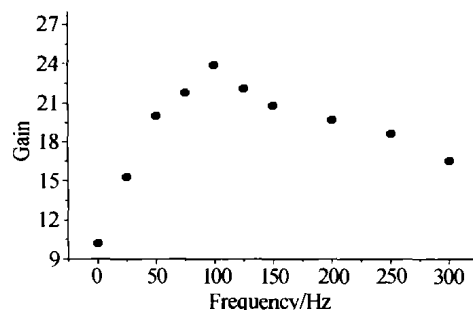


图 5 泵浦光斩波频率对两波耦合增益的影响

Fig. 5 The influence of the pump beam chopping frequency to the gain of two waves coupling

### 2.4 泵浦光斩波对 Ce:KNSBN 晶体体全息存储再现性的改善

以上实验结果表明,泵浦光斩波在两波耦合的初期抑制了泵浦光光扇噪声,以图 2 光路代替图 1 中信号光部分,进行泵浦光斩波条件下的全息存储实验. 实验中斩波频率取 100 Hz,斩波占空比取 1:1,为了在斩波与未斩波时达到相同的增益效果,取斩波时记录时间为未斩波时的两倍. 图 6(a) 为泵浦光关闭时,物在屏上所成的像,图 6(b) 和图 6(c) 分别为泵浦光未斩波和斩波情况下所再现的图像. 比较图 6(b) 和图 6(c) 可以清楚的看到:由于光扇效应的影响,图 6(b) 中边界和条纹部分都比较模糊,图 6(c) 则基本没有丧失细节,因此泵浦光斩波改善了 Ce:KNSBN 晶体体全息再现图像质量.



(a)The image of the object when closing the pump beam (b)The image without the pump beam chopping (c)The image with the pump beam chopping

图6 各条件下再现图像

Fig. 6 The reconstructed images with different condition

### 3 结论

实验采用泵浦光斩波调制延缓和抑制 Ce:KNSBN 晶体中光扇的发展,斩波占空比为 1:1 和斩波频率为 100 Hz 时,斩波对泵浦光光扇的抑制可达最佳效果.在上述基础上探讨了泵浦光斩波调制对 Ce:KNSBN 晶体体全息存储质量的影响,结果表明:泵浦光调制对 Ce:KNSBN 晶体体全息存储再现图像质量有明显改善.

#### 参考文献

- 1 刘思敏,郭儒,凌振芳.光折变非线性光学.北京:中国标准出版社,1992.1~6  
Liu S M, Guo R, Ling Z F. Nonlinear Optics of Photorefractive Effect. Beijing: China Standard Publishing House, 1992. 1~6
- 2 李晓春,何庆声,金国藩,等.1000 幅数字图像的晶体体全息存储与恢复.光学学报,1998,18(6):722~725  
Li X C, He Q S, Jin G F, et al. Acta Optica Sinica, 1998, 18(6):722~725
- 3 忽满利,李育林,乔学光,等.低噪声光折变体全息存储.光子学报,1998,27(7):611~615  
Hu M L, Li Y L, Qiao X G, et al. Acta Photonica Sinica, 1998, 27(7):611~615
- 4 Kamber N Y, Xu Jingjun, Mikha S M, et al. Threshold effect for photorefractive light-induced scattering and signal beam amplification in doped LiNbO<sub>3</sub> crystal. Journal of Applied Physics, 2000, 78(6):2684~2690
- 5 Joseph J, Pillai P K C, Singh K. A novel way of noise reduction in image amplification by two-beam coupling in photorefractive BaTiO<sub>3</sub> crystal. Opt Comm, 1991, 80(1): 84~88
- 6 He Q B, Yeh P. Fanning noise reduction in photorefractive amplifier using incoherent erasures. Appl Opt, 1994, 33(2): 283
- 7 张金平,刘峰,李盼来,等. Ce:KNSBN 晶体中扇形光的时间演化.河北大学学报,2003,23(4):371~374  
Zhang J P, Liu F, Li P L, et al. Journal of Hebei University, 2003, 23(4):371~374

## Improvement of Holographic Storage Quality by Pump Beam Modulation in Ce:KNSBN Photorefractive Crystal

Guo Qinglin, Li Panlai, Zhang Jinping, Liu Feng, Ha Yan, Fu Guangsheng

College of Physics Science & Technology Hebei University, Baoding 071002

Shang Yong

Committee of Hebei Natural Science Foundation, Shijiazhuang 050021

Received date:2003-09-16

**Abstract** The two-beam coupling process and the fanning noise in a Ce:KNSBN crystal are experimentally studied as a function of the pump beam modulation frequency and the duty ratio. The results show that the fanning noise is restrained and the quality of the reconstructed image is improved with a suitable modulation frequency.

**Keywords** Photorefractivity; Fanning; Volume holographic storage; Reproduction improvement



**Guo Qinglin** a professor at the College of Physical Science & Technology of Hebei University. His research interest at present is in the fields of photorefractive nonlinear optics and optical information processing.