

实时图像反转与实时图像高低通滤波*

赵 桦 孙万钧 张景文 许克彬
(哈尔滨工业大学应用物理系
哈尔滨 150001)

李铭华 徐玉恒
(哈尔滨工业大学应用化学系
哈尔滨 150001)

摘 要 报道了以 Ce, Fe:LiNbO₃ 薄晶体作记录介质, 利用 Ti, Cu:KNSBN 晶体猫式自泵浦位相共轭镜提供反向读出光束的新型实时光学处理器, 该处理器可以实现图像反转, 图像高、低通滤波等操作。文中还给出了基于全息记录与擦除、自衍射与尺寸效应等的机理解释。

关键词 图像反转, 带通滤波器, 自泵浦位相共轭。

光折变非线性光学的应用探索近年来受到国内外光学界的普遍关注^[1~4], 由于光折变晶体可以重复使用且记录全息图无需中间处理过程, 使其光学操作具有实时性, 因而人们正不断寻求利用光折变效应作实时振动模式检测^[1], 实时干涉计量及实时图像微分^[4], 实时逻辑运算^[5], 实时图像相减^[6]以及用作其它光计算方面操作的可能性。本文报道了一种结构简单的多功能光学图像处理器, 可以完成实时图像反转等操作。

1 实验装置、记录介质与位相共轭镜

1.1 实验装置

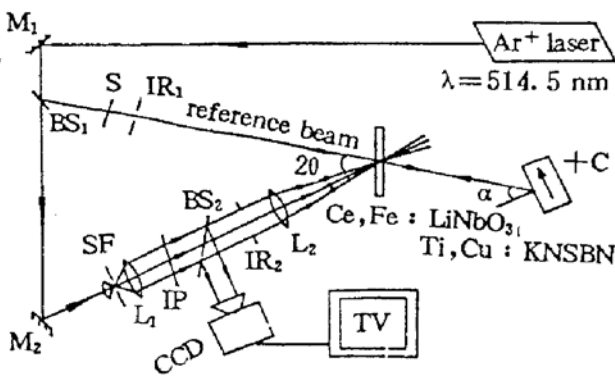


Fig. 1 Schematic diagram of real-time multi-functional optical processor: BSi-beam splitters, Mi-mirrors, Li-lenses

本文的多功能光学处理器实验装置如图 1 所示。工作在基横模的氩离子激光器输出波长为 $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ 。总入射光束经透射率为 28% 的分束镜 BS₁ 分为参考光 I_{20} 和物光 I_{10} , 参考光支路放有挡板 S 和可变光阑 IR₁。物光束经空间滤波器 SF 后由透镜 L₁ 准直, 入射图像置于输入面 IP 处, 为避免入射像在傅里叶透镜 L₂ (焦距为 $f = 308 \text{ mm}$) 前后表面上的反射像经分束镜 BS₂ 反射到达输出面, 将 L₂ 微微倾斜(位相共轭反射波可自动消除由此引起的位相畸变)。物光与参考光相交于记录介质 Ce, Fe:LiNbO₃ 晶体上, 透射参考光入射在由 Ti, Cu:KNSBN 晶体构成的猫式自泵浦位相共轭镜上, 提供记录介质上的反向读出光。

* 本课题部分内容得到黑龙江省自然科学基金资助。

收稿日期:1994年3月25日

1.2 记录介质

该多功能实时光学处理器的记录介质是由哈尔滨工业大学应用化学系提供的双掺杂 Ce, Fe:LiNbO₃ 晶体, 晶体呈微红色, 铌酸锂(简称为 LN)晶体内掺铈可以延长存储时间, 利于多重存储, 提高成像质量。晶体尺寸为 20.0×20.0×0.96 mm³, 光轴在 20.0×20.0 mm² 的平面内且平行其中的一边, 对应氩离子激光器的 514.5 nm 波长, 样品吸收系数 $\alpha = 1.67 \text{ cm}^{-1}$, 对应此波长的二波耦合指数增益系数 Γ 随两入射光束晶体外的夹角 2θ 变化的实验曲线示于图 2, 测试条件为泵浦光 $I_{20} = 1.62 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 光束截面直径 $D = 4.0 \text{ mm}$, 入射泵浦光与信号光的光强比为 $\beta = 2420$, 信号光束截面直径 $d = 1.0 \text{ mm}$ 。从图中看出, 较薄样品能量转移的能力是较强的, 其耦合增益系数增强的机理见文献[7]。在本文的光学处理器中, 由于光束要两次经过记录介质, 故选用低吸收的薄样品具有更大的优越性。

1.3 猫式自泵浦位相共轭镜

实验中所用的猫式自泵浦位相共轭镜为山东大学晶体材料研究所提供的双掺杂 Ti, Cu:KNSBN 晶体, 其尺寸为 5.5×5.1×4.8 mm³, 对应 $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ 波长的光, 对应最佳入射角 $\alpha = 67^\circ$ 。共轭反射率随入射光强变化的实验结果如图 3 给出。由于其位相共轭反射率高, 强度响应范围宽, 故被选用作自泵浦位相共轭镜, 提供实时光学处理器的反向读出光。

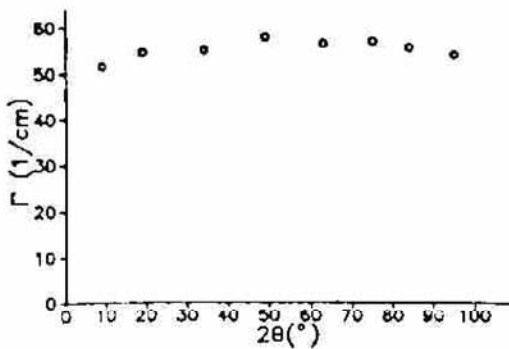


Fig. 2 Exponential gain coefficient Γ versus full external crossing angle of the pump and signal beams for the Ce, Fe:LN crystal

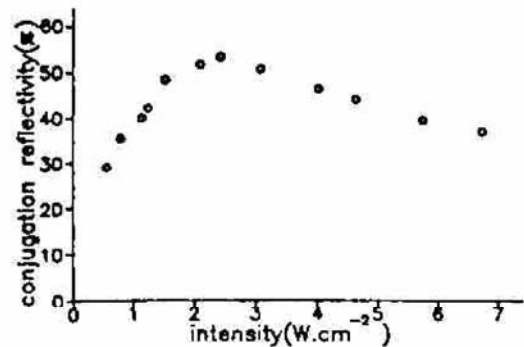


Fig. 3 Reflectivity of self-pumped phase conjugator versus input light intensity for the Ti, Cu:KNSBN crystal (incident angle $\alpha = 67^\circ$)

2 实验结果与机理分析

2.1 图像反转

利用光折变晶体作全息记录时, 常使照射其上的物光强度与参考光强度相当, 这样易于获得较大的衍射效率。在图像反转实验中记录介质置于傅里叶透镜 L₂ 后焦点前 5 cm 左右, 参考光功率 $P_{20} = 36.4 \text{ mW}$, 照射到入射面的总功率 $P_{10} = 8.2 \text{ mW}$, $2\theta = 26^\circ$, $\alpha = 67^\circ$, 实验开始, 以圆形光孔置于入射面处, 大约 12 sec 后, 在输入面处换上印有汉字“存储”的透明片, 在大约 1~2 sec 内, 输出面上看到输入图像的反转图像, 如图 4 所示。其机理分析如下:



Fig. 4 Experimental result of image reversion; (a) original input image; (b) output contrast reversioned image

当以圆孔记录了一段时间以后, 再将“存储”图像置于原圆孔所在处, 由于光折变晶体记

录光栅的自衍射效应,参考光与物光中亮的部分信息相交的部分光强度会高于暗的部分相对应的部分光强度,故射入位相共轭镜的透射参考光有一定的强度分布,由 Feinberg 等人的跳跃速率模型^[8],若只考虑晶体内的光栅擦除作用则其对应的共轭反射光强呈如下规律:

$$I = I_0 \exp(-A_s)t \quad (1)$$

其中 I_0 是对应初始状态的共轭反射光强, A_s 与照射晶体光栅所在处的总光强成正比。在本文所考虑的情况下,光栅的记录与擦除过程均存在,当变换入射图像之后,与透射参考光高强度部分相对应的光栅在短期内处于快速擦除状态,故反射光中与高强度相对应的反射光下降很快,即反向读出光中与高强度对应的部分快速衰减,这样便出现了图像反转情况。

2.2 高通滤波

对应高通滤波的操作过程如下。将 Ce, Fe:LN 晶体置于傅里叶透镜 L_2 的后焦点前大约 3 cm 左右,将带有拉丁字母“S”,“T”的二值透明片放在输入面上,入射参考光功率 $P_{20} = 32.5$ mW,照射透明片的总入射功率 $P_{10} = 12.3$ mW,参考光束直径 $D = 4.0$ mm,角度条件同上。输出面上一开始出现完整的图像,但随着时间的推移,图像中间部分逐渐变暗,大约 120 sec 左右,输出面上得到对应输入图像的边缘,即对应图像的傅里叶频谱的高频保留下来。低频被滤掉,完成了二值图像的高通滤波。高通滤波的实验结果如图 5 所示,(a)是原输入物,(b)是高通滤波输出图像。这种组态也可完成光学系统的瑕疵检测。当光学系统中由于灰尘等振幅吸收物体存在其中时,会对信息处理造成很大影响。此系统可以突出光学系统中的瑕疵。图 6 给出了一个光学系统中的瑕疵检测输出结果,大圆内部的白点是光学系统中元件(分束镜、透镜等)上灰尘引起的振幅吸收所致。

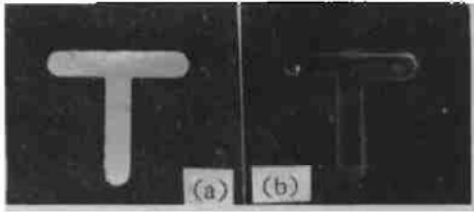


Fig. 5 Experimental results of high-pass filtering: (a) input binary images; (b) output high-pass filtered images



Fig. 6 Experimental result of detection of the blemishes of an optical system

此高通滤波操作的机理可参照文献[3]加以分析。对应较薄的掺杂 LN 晶体,当其被一束近焦点的较强物光照射一段时间后,由于其中存在较强的自衍射效应与尺寸效应,这便使透射物光的低频被滤掉^[3]。在本文的系统中,由于有参考光的加入,使物光与参考光记录了光栅,透射物光信息可用参考光再现。自泵浦位相共轭镜提供的反向读出光,可以反相读出物光与参考光记录的光栅,从而在输出面上得到透射物光的共轭输出像。

从系统的复杂程度来看,此高通滤波装置比文献[3]的类似装置多了一束参考光,且多了一个自泵浦位相共轭镜,结构复杂了。但从实验结果可以看出,采用位相共轭反射输出的图像质量比直接透射成像的图像质量要好。这是由于位相共轭反射消除了掺杂 LN 晶体产生的位相畸变的缘故。这正是本系统的优势所在。

2.3 低通滤波

对应低通滤波操作的实验条件如下:Ce, Fe:LN 晶体放在傅里叶透镜 L_2 的后焦点前 6 cm 左右处,入射参考光总功率 $P_{20} = 16.3$ mW,参考光直径 $D = 1.5$ mm,照射在带有汉字“联想”的透明片[示于图 7(a)]上的总入射功率 $P_{20} = 4.2$ mW。当用参考光与物光记录调制度较

大的光栅之后, 挡掉参考光, 以含原物信息 50% 的部分图像寻址, 在输出面上得到联想输出结果[图 7(b)]. 从输出图像看出, 对应原物中丝状背景被滤掉了。

操作的原理非常简单。在傅里叶透镜后, 对应图像高频的信息偏离透镜主光轴的距离较远, 而图像基频部分落在光轴附近。从实验条件可以看出, 入射参考光的尺寸较小 $D = 1.5 \text{ mm}$, 故对应图像细节的高频部分没有很好的记录光栅, 当“联想”读出时, 便滤掉了高频信息。从实验结果与机理分析可以看出, 当需要从一幅图像中滤掉细小结构的背景噪声时, 可通过适当限制入射参考光尺度达到目的。相反, 当要保留图像的细节信息时, 必须使参考光的尺度达到一定数值, 使对应细节的高级频谱记录较好的光栅。

结 论 总之, 利用 Ce:Fe:LN 晶体作记录介质, 以 Ti:Cu:KNSBN 晶体自泵浦位相共轭镜提供反向读出光, 可以完成实时图像反转, 实时图像高、低通滤波等操作。

感谢山东大学晶体材料研究所陈焕鑫教授, 姜全忠老师与吕新亮老师提供了高质量的 Ti:Cu:KNSBN 晶体。

参 考 文 献

- [1] P. Gunter, Holography coherent light amplification and optical phase conjugation with photorefractive materials. *Phys. Rep.*, 1982, **93**(4): 199~299
- [2] 许克彬, 张景文, 徐海英等, 实时联想存储技术与器件. *光子学报*, 1992, **21**(5): 73~80
- [3] Yuanqing Wu, Jingjun Xu, Simin Liu *et al.*, Automatic low-frequency spatial filter that uses light induced scattering in LiNbO₃:Fe crystal. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(17): 3210~3212
- [4] Jingwen Zhang, Hua Zhao, Yanqiu Li *et al.*, Multi-functional real-time optical processor with self-pumped phase conjugator of Cu:KNSBN. *Chinese J. Lasers*, 1993, **B2**(6): 557~563
- [5] Haiying Xu, Yang Yuan, Kebin Xu *et al.*, Real-time parallel optical logic operation using photorefractive two-wave mixing and fringe-shifting techniques. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(11): 1769
- [6] Arthur E. Chiou, Pochi Yeh, Parallel image subtraction using a phase-conjugate Michelson interferometer. *Opt. Lett.*, 1986, **11**(5): 306~308
- [7] Jingwen Zhang, Wanjun Sun, Hua Zhao *et al.*, Enhancement of the exponential gain coefficient as a result of the light-fanning effect in thin doped LiNbO₃ crystals. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(17): 1391~1393
- [8] J. Feinberg, D. Heiman, A. R. Tanguay Jr. *et al.*, Photorefractive effects and light-induced charge migration in barium titanate. *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**(3): 1297~1305

Real-Time Image Reversation and Real-Time High-and Low-Pass Filtering

Zhao Hua Sun Wanjun Zhang Jingwen Xu Kebin
(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Li Minghua Xu Yuheng
(Department of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(Received 25 March 1994)

Abstract A novel real-time optical processor is demonstrated by using a Ti, Cu:KNSBN self-pumped phase conjugator to produce opposite reading light and a thin piece of Ce, Fe:LiNbO₃ crystal as memory medium. The processor can be used to perform operations of image reversation and 2D image high- and low-pass filtering. The mechanism analyses based on writing and erasure of the hologram, self diffraction and size effect are given.

Key words image reversation, band-pass filter, self-pumped phase conjugation.



Fig. 7 Experimental result of low-pass filtering: (a) original input image; (b) output low-pass filtered images