

# 应用诱导互泵浦位相共轭镜的实时图像处理\*

孙秀冬 周忠祥 李 焱 孙万钧 许克彬

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

祝桂芝

姜全忠 陈焕鑫

(大连铁道学院物理教研室, 大连 116022) (山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

**摘 要** 利用自泵浦诱导的互泵浦位相共轭镜, 在 $16^\circ$ 切掺铜钾钠铌酸锶钡晶体中, 分别对信号图像的完整输出和边缘增强输出实现了两幅图像的实时相加和相减处理。位相共轭输出的成像分辨率高达 $50 \text{ pl/mm}$ 。

**关键词** 自泵浦位相共轭镜, 诱导互泵浦位相共轭镜, 分辨率, 图像处理。

## 1 引 言

一般来说, 相干图像加减可利用干涉仪来实现, 如迈克尔逊干涉仪和马赫-陈德干涉仪等, 但其图像加减的强度分布将会由于空气扰动和热效应等因素影响而不断变化。另一方面, 这种干涉计量对准直性要求很高, 因此在实际应用中受到很多限制。近年来, 随着光折变非线性光学的发展, 人们提出了多种改善干涉计量稳定性及实用性的方法。Chiou<sup>[1-3]</sup>等采用自泵浦位相共轭镜代替迈克尔逊干涉仪两臂上的平面镜完成了相干像相减、图像反转及异或逻辑运算。Tomita<sup>[4]</sup>等人利用双位相共轭镜(DPCM)实现了偏振方向不同的两载像光束的实时图像加减及强度反转。Yeh<sup>[5]</sup>等人也在光折变晶体 $\text{BaTiO}_3$ 中利用两波记录, 参考光读出的四波混频方法实现了图像加减和图像微分操作。

本文提出一种新方法, 即利用掺杂钾钠铌酸锶钡(KNSBN)晶体中诱导互泵浦实现实时图像处理。此组态调节灵活, 分辨率高, 且具有较大的动态范围, 可同时完成图像的加减操作。通过在光路中加入中性衰减片, 对支路光强进行调节, 可使图像加减效果更好。作者利用此组态实现了实时图像加减、图像微分等操作。

## 2 诱导互泵浦位相共轭镜

互泵浦位相共轭镜是通过两互不相干光束在光折变晶体中的相互作用和耦合, 同时产生两束位相共轭输出光的装置<sup>[6-9]</sup>。自泵浦诱导下的互泵浦位相共轭反射组态是一种新颖的能够同时产生两束入射光的位相共轭反射光的组态。首先, 泵浦光以利于产生自泵浦位相共轭

\* 黑龙江省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994年12月23日; 收到修改稿日期: 1995年2月27日

反射的方向射入晶体内，经历自弯曲，自散焦过程后形成自泵浦位相共轭输出，经过一段时间后，达到饱和。信号光与泵浦光从晶体的同一表面入射(如图 1(a)所示)，在信号光的反方向将出现位相共轭反射输出。反之，若先照射信号光，再入射泵浦光，则信号光的位相共轭输出将随着泵浦光的自泵浦的产生而出现。由于该位相共轭光的出现是以泵浦光的自泵浦位相共轭反射的产生为前提的，且其能量主要来自于泵浦光，因此作者称这种组态为自泵浦位相共轭反射诱导的互泵浦位相共轭反射。

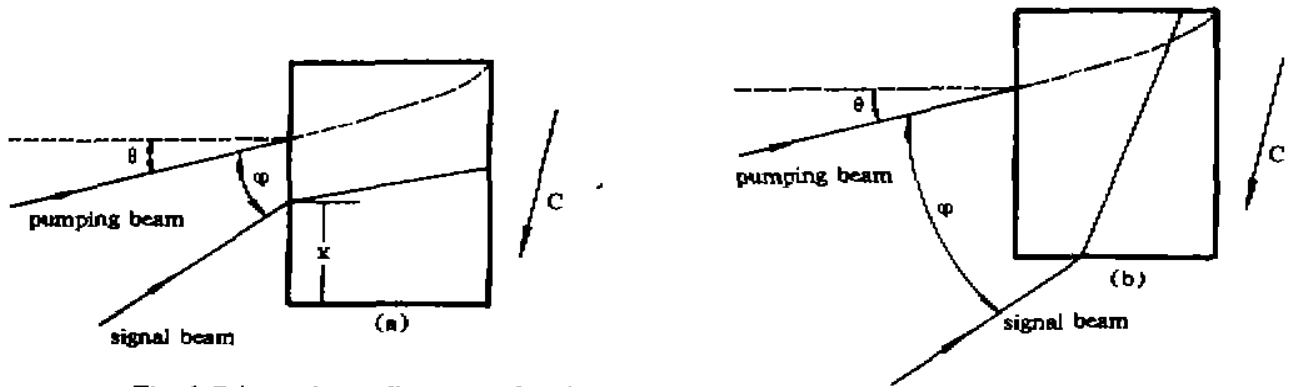


Fig. 1 Schematic configuration for the induced mutually-pumped phase conjugator

利用此组态，作者测量了 16°切割的掺铜 KNSBN 晶体互泵浦位相共轭反射率对入射光强比的依赖关系，在两入射光束互相相干及较大的光强比下，获得了高于 90%的位相共轭反射率<sup>[10]</sup>。当固定泵浦光束入射位置(在图 1(a)中，泵浦光束距晶体上表面约 3.0 mm)，入射角  $\theta = 30^\circ$ ，两光束夹角  $\varphi = 28^\circ$  及光强比  $\beta = 73$  时，测得信号光的位相共轭反射率对信号光入射位置 X 的依赖关系如图 2 所示。从图 2 可以看出，两束光的耦合程度与两束光在晶体内的相对位置密切相关。实验所用的晶体尺寸为 7.2 mm × 7.0 mm × 5.7 mm，由该晶体构成的猫式自泵浦位相共轭镜在较大的角度范围内均有共轭输出，且在很大入射光强范围内均有较高的共轭反射率，其自泵浦位相共轭成像分辨率高于 50 pl/mm<sup>[11]</sup>，在本文组态下，利用 WT-1005-62 型标准分辨率板图案 N<sub>2</sub> 号作输入图像，得到信号光的位相共轭输出图像分辨率也达 50 pl/mm，如图 3 所示。该组态的图像分辨率高于其它互泵浦组态，如双位相共轭镜<sup>[6]</sup>的分辨率为 5 pl/mm，蛙腿式位相共轭镜<sup>[8]</sup>的分辨率约为 7 pl/mm。此外，该组态的信号光入射位置具有较大的灵活性，当信号光从泵浦光入射面的侧面入射时(图 1(b))，也得到了较好的位相共轭输出图像。

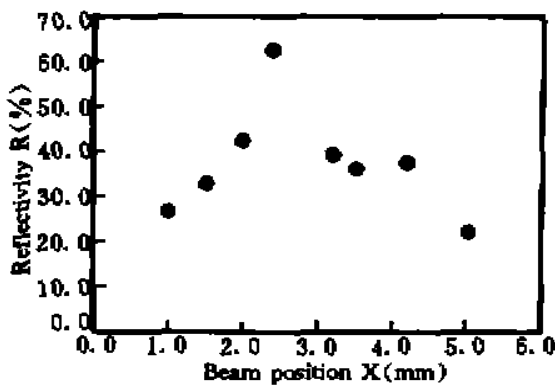


Fig. 2 Phase conjugate reflectivity of the signal beam as a function of the signal position

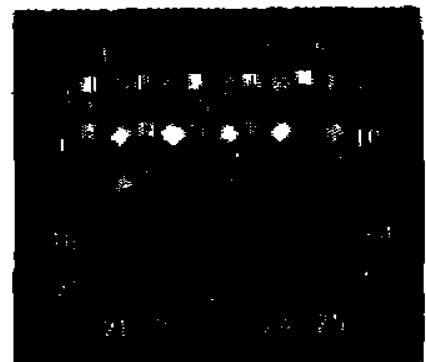


Fig. 3 Phase conjugate replica of the resolution chart N<sub>2</sub> of WT-1005-62

### 3 实时图像处理

本文采用的实时图像处理实验装置如图 4 所示。

一振幅为  $E_0$  的入射波经分束镜  $BS_2$  分为  $E_R$  和  $E_S$  两束光, 其中  $E_R = rE_0$ ,  $E_S = tE_0$ ,  $r$  和  $t$  分别为分束镜  $BS_2$  的反射和透射系数。光束  $E_R$  和  $E_S$  通过透射系数为  $T_2(x, y)$ ,  $T_1(x, y)$  的两物体后, 分别作为泵浦光和信号光入射到光折变晶体上。信号光  $E_S$  的位相共轭反射率为  $R_1$ , 泵浦光  $E_R$  的位相共轭反射率为  $R_2$ 。两光束的共轭光经分束镜  $BS_2$  后在接收平面  $S_2$  处合成为一束光, 其光强为:

$$I_1 = \left| c_1 t^* E_0^* |T_1|^2 R_1 r' + c_2 r^* E_0^* |T_2|^2 R_2 t' \right|^2 \\ = \left| c_1 t^* r' R_1 |T_1|^2 + c_2 r^* t' R_2 |T_2|^2 \right|^2 I_0 \quad (1)$$

式中  $I_0 = |E_0|^2$ ,  $r'$  和  $t'$  为光从相反方向上入射到分束镜  $BS_2$  上时的反射系数和透射系数,  $c_1, c_2$  是为改变光强而插入光路中的中性衰减片  $F_1$  和  $F_2$  引入的比例常数。根据斯托克斯原理  $t^* r' + r^* t' = 0$ , 则(1)式可写成

$$I_1 = \left| c_1 R_1 |T_1|^2 - c_2 R_2 |T_2|^2 \right|^2 |t^* r'|^2 I_0 \quad (2)$$

同理可在接收平面  $S_1$  处得到输出光强为

$$I_2 = \left| c_1 t^* R_1 |T_1|^2 t' + c_2 r^* R_2 |T_2|^2 r \right|^2 I_0 \quad (3)$$

对于线性介质, 有  $t = t'$ , 则(3)式变为

$$I_2 = \left| c_1 R_1 |T_1|^2 |t|^2 + c_2 R_2 |T_2|^2 |r|^2 \right|^2 I_0 \quad (4)$$

### 4 实验结果及讨论

如图 4 所示, 氩离子激光器输出的 488 nm 谱线经半波片后以非常光入射到扩束器 BE, 然后作为平行光在分束镜  $BS_2$  上分为泵浦光与信号光两部分, 两者以相同的程序透过图像, 经反射镜反射后, 再通过中性衰减片和透镜, 泵浦光以  $\theta = 30^\circ$  和约 2 mm 直径入射到  $16^\circ$  切掺铜 KNSBN 晶体上, 信号光与泵浦光夹角为  $\varphi = 28^\circ$ , 两透镜  $L_1$  和  $L_2$  的焦距均为 308 mm, 激光器总输出功率为  $P = 120$  mW, 晶体 C 轴与光束入射面夹角为  $16^\circ$ 。

实际上, 信号输出图像的质量与信号束聚焦情况有直接关系, 为得到饱满的信号共轭输出图像, 晶体需处于信号光束的高焦位置(即移动透镜  $L_1$  使信号光束聚焦在晶体以外)。而当调节透镜  $L_1$  的位置使信号光束的傅里叶频谱面位于晶体厚度的大约一半处时, 此时信号光强远大于泵浦光强, 得到的是信号载像的微分(边缘增强)结果。若信号图像面积大于泵浦图像, 则在接收平面  $S_1$ (或  $S_2$ )上, 泵浦图像所在处的信号图像光强为零, 此时无论相加相减结果都是相同的, 即在  $S_1$  和  $S_2$  处观察到的图像是完全相同的。图 5 和图 6 分别给出了对应饱满图像和微分图像的加减结果。

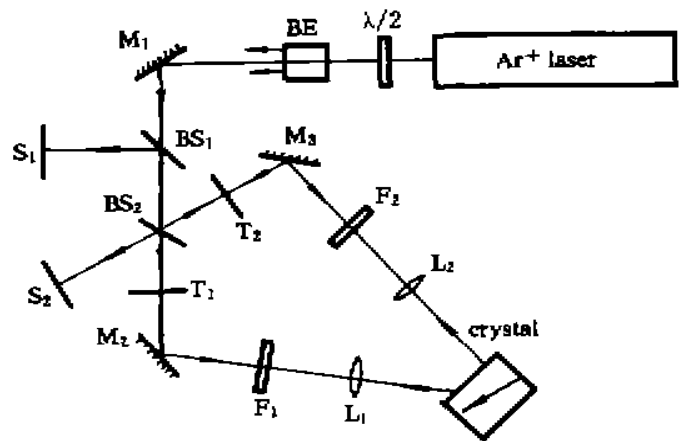


Fig. 4 Experimental setup for real-time optical image processing; BS's-beam splitters, M's-mirrors, F's-neutral attenuating plate, L's-lenses, S's-screens, T's-transparencies, BE-beam expander,  $\lambda/2$ -half wave plate



Fig. 5 (a) self-pumped phase conjugate image of the uniform Gaussian beam impressed on the pumping beam, (b) complete phase conjugate image of "R" impressed on the signal beam, (c) image subtraction, (d) image addition



Fig. 6 Experimental result for the edge-enhancement output in the signal beam. A "triangle" and a "uniform Gaussian beam" are impressed on the pumping and signal beams, respectively

这个操作系统利用了光束的位相共轭性质,不但消除了光路中空气流动,热效应等影响,而且与干涉计量中两臂光程的差别无关。从(2)式还可以看出,两幅图像的减操作与分束镜  $BS_2$  的反射系数和透射系数无关,适当调节中性衰减片  $F_1$  和  $F_2$ ,使之满足  $c_1 R_1 = c_2 R_2$ ,则(2)式变为

$$I_1 = \left| |T_1|^2 - |T_2|^2 \right|^2 |c_1 R_1 t^* \tau'|^2 I_0 \quad (5)$$

在接收平面  $S_2$  处即可得到理想的减操作。而加操作与分束镜  $BS_2$  的反射系数  $|\tau|^2$  和透射系数  $|t|^2$  有关,若适当选择分束镜使  $|t|^2 = |\tau|^2$ ,则式(4)变为:

$$I_2 = \left| |T_1|^2 + |T_2|^2 \right|^2 |t c_1 R_1|^2 I_0 \quad (6)$$

此时可进行理想的加操作。

由于本实验所采用的组态是自泵浦位相共轭反射诱导的互泵浦位相共轭反射,实时操作时先产生自泵浦,当有信号光入射时,其位相共轭光很快产生,响应时间比文献[2~4]中采用的组态要短得多。如果泵浦光与信号光同时入射,则响应时间主要由自泵浦过程决定。另外该组态在很大的泵浦信号光强比下,仍有很高的互泵浦位相共轭反射率<sup>[10]</sup>,因此这种自泵浦位相共轭反射诱导的互泵浦位相共轭反射组态特别适合于对弱图像的光学处理。

**结 论** 本文利用自泵浦诱导互泵浦位相共轭反射实现了实时图像加、减操作及微分操作。由于本组态具有很高的分辨率和共轭反射率,较大的动态范围和角度响应范围,且结构比较简单,输出稳定,不受光路中畸变、空气扰动和准直的限制,可望用于实际的实时图像处理。

### 参 考 文 献

- [1] A. E. Chiou, P. Yeh, M. Khoshnevisan, Coherent image subtraction using phase conjugate interferometry. *Proc. SPIE*, 1985, 613: 201~206
- [2] S.-K. Kwong, G. A. Rakuljic, A. Yariv, Real time image subtraction and "exclusive or" operation using a self-pumped phase conjugate mirror. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, 48(3): 201~203
- [3] S.-K. Kwong, G. A. Rakuljic, V. Leyva et al., Real time image processing using a self-pumped phase conjugate mirror. *Proc. SPIE*, 1985, 613: 36~42
- [4] Y. Tomita, R. Yahalom, A. Yariv, Real-time image subtraction with the use of wave polarization and phase

- conjugation. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 52(6): 425~427
- [5] P. Yeh, T. Y. Chang, P. H. Beckwith. Real-time optical image subtraction using dynamic holographic interference in photorefractive media. *Opt. Lett.*, 1988, 13(7): 586~588
- [6] S. Weiss, S. Sternklar, B. Fischer. Double phase-conjugate mirror; analysis, demonstration, and applications. *Opt. Lett.*, 1987, 12(2): 114~116
- [7] A. M. Smout, R. W. Eason. Analysis of mutually incoherent beam coupling in BaTiO<sub>3</sub>. *Opt. Lett.*, 1987, 12(7): 498~500
- [8] M. D. Ewbank, R. A. Vazquez, R. R. Neurgaonkar *et al.*, Mutually pumped phase conjugation in photorefractive strontium barium niobate; theory and experiment. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1988, 7(12): 2306~2316
- [9] D. Wang, Z. Zhang, Y. Zhu *et al.*, Observation on the coupling channel of two mutually incoherent beams without internal reflection in BaTiO<sub>3</sub>. *Opt. Commun.*, 1989, 73(6): 495~500
- [10] X. Sun, K. Xu, J. Zhang *et al.*, Efficient induced mutual pumped phase conjugation in Cu:KNSBN. *Proc. SPIE*, 1994, 2321: 37~39
- [11] 张景文, 赵 桦, 孙万钧等. 利用猫式自泵浦位相共轭镜的光学联想存储器. *光学学报*, 1994, 14(4): 421~424

## Real-Time Optical Image Processing Using Induced Mutually-Pumped Phase Conjugator

Sun Xiudong    Zhou Zhongxiang    Li Yan    Sun Wanjun    Xu Kebin

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

Zhu Guizhi

(Section of Physics, Dalian Railway College, Dalian 116022)

Jiang Quanzhong    Chen Huanchu

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 23 December 1994; revised 27 February 1995)

**Abstract** Real-time image subtraction and addition of two image-bearing phase conjugate waves are demonstrated by using a novel mutually pumped phase conjugator induced by self-pumped phase conjugate reflection, for either a complete or an edge-enhancement phase conjugate output of the image carrying on the signal. A 16° cut KNSBN crystal is used. The resolution of phase conjugate output image is as high as 50 pl/mm.

**Key words** self-pumped phase conjugator, induced mutually-pumped phase conjugator, resolution, image processing.