

文章编号: 0253-2239(2001)11-1343-04

Cr: SBN 晶体用于光学图像边缘增强的实验研究*

赵建林¹⁾ 吴建军¹⁾ 王 彬¹⁾ 杨德兴¹⁾ Kapphan S²⁾ Pankrath R²⁾

1), 西北工业大学应用物理系, 西安 710072

2), Fachbereich Physik, Universität Osnabrück, D-49069 Osnabrück, Germany

摘要: 提出一种利用光折变二波耦合放大原理实现图像边缘增强的新方法。在用 Cr: SBN 晶体作记录介质的实时傅里叶变换全息读写装置中, 物光中相对分离的高、低空间频率成分分别与参考光波在晶体中发生二波耦合。由于代表图像边缘信息的高频分量强度远低于低频分量, 耦合的结果使得相对较弱的高频分量得到增强, 从而使再现的全息像边缘凸出。文中详细讨论了晶体光轴取向及参物比对图像边缘增强效果的影响, 分析了不同能量转移方向下实现边缘增强的物理机制。实验结果表明, Cr: SBN 晶体有可能成为一种用于图像边缘增强的光折变晶体动态滤波器。

关键词: 光折变二波耦合; Cr: SBN 晶体; 边缘增强; 动态滤波器

中图分类号: O438.1 文献标识码: A

1 引 言

边缘是图像最基本的特征之一。增强并提取图像的边缘信息, 在模式识别、图像匹配、纹理检测等方面有着广泛的应用。传统的光学图像边缘增强方法, 如高通滤波、复合光栅、散斑成象、图像相减等^[1], 实现边缘增强的机制是滤掉或减弱图像频谱信息中的低频成分的影响, 突出其高频成分。人们已先后在 LiNbO₃^[2,3]、BaTiO₃^[4]、BSO^[5]、KNSBN^[6] 等晶体中实现了光学图像的边缘增强。利用不同晶体或不同实验装置实现边缘增强的机理不尽相同。

近年来, 各种掺杂的 SBN 晶体, 因其光折变响应速度快, 波耦合性能卓越而愈来愈受到重视。我们在研究 Cr: SBN 晶体的实时傅里叶变换全息读写特性时发现, 当参考光与物光的频谱在晶体中发生耦合时, 物光透过晶体的投影像或其全息再现像会出现边缘增强现象, 边缘增强的程度与晶体光轴的取向和参考光光强与物光光强之比(参物比)有关。这个现象用光折变自衍射效应或尺寸效应不能给出满意的解释。研究结果表明, 利用 Cr: SBN 晶体可以制成一种实现图像边缘增强的光学动态滤波器。

2 晶体样品及实验光路

实验所用晶体样品为经单畴化的 Cr: SBN: 61

晶体, 系德国 Osnabrück 大学物理系晶体生长组采用 Czochralski 方法生长, 晶体的尺寸为 5 mm × 7 mm × 7 mm, Cr 的掺杂质量分数为 10⁻³, 居里点 $T_c = 80$ °C, 在白光下呈淡绿色。极化处理的温度、电压及时间分别为: 130 °C、1 kV/mm、1 h。图 1 为室温下测得的该晶体样品的偏振吸收光谱。

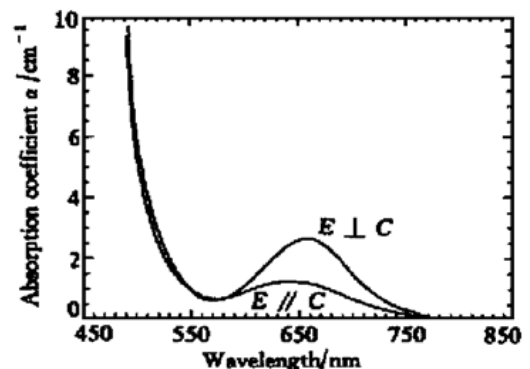


Fig. 1 Absorption coefficient of Cr: SBN crystal doped with 1000 ppm Cr

实验装置如图 2 所示。由 He-Ne 激光器发出的波长为 632.8 nm 的细激光束经反射镜 M₁ 转向后, 再经分束器 BS 分成两束: 一束作为参考光(抽运) I_p, 经 M₃ 反射转向后进入晶体, 其入射和透射强度用硅光电池经 PC 机监测; 另一束作为物光(信号光) I_s, 依次经反射镜 M₂ 转向和扩束镜 L₁ 扩束后, 再经傅里叶透镜 L₂ 会聚于晶体中, 并与参考光在晶体中相交。平面物 O(实验中为一双面剃须刀片)位于透镜 L₂ 和晶体样品之间, 其傅里叶变换谱正好位于光束会聚点所处平面。用 CCD 相机在

* 西北工业大学“双新计划”资助课题。

收稿日期: 2000-09-11; 收到修改稿日期: 2000-11-20

与物平面相对于晶体对称的位置接收物光的全息再现像 P。晶体外信号光束与参考光束轴线间的夹角为 14.5°。此外,考虑到 SBN 晶体的结构特点,为获得有效的耦合,置晶体光轴于水平面内,且在光路中插入一半波片,将激光器输出的垂直偏振光转换成水平偏振光,使进入晶体的两光束为异常光。

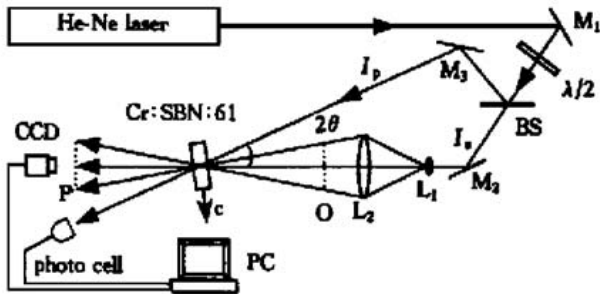


Fig. 2 Experimental setup. M: mirror; λ/2: half-wave plate; BS: beam splitter; L: lens; O: object; P: image

3 实验结果

分别就不同参物比及不同晶体光轴取向进行了两波耦合边缘增强的实验观察。图 3 是在晶体 + c 轴方向位于参考光一侧时(如图 2 所示)的情况。其中图 3(a)是未加参考光时透过晶体记录的输入物的像,图 3(b)则反映了参考光的加入对图像边缘的影响。

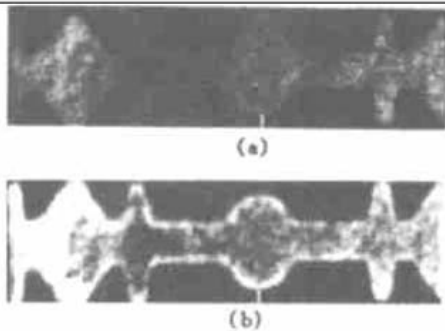


Fig. 3 Enhancement of the images edge with and without reference beam (+ c axis: near reference beam).

(a) Without reference beam; (b) With reference beam

图 4 是在相同光轴取向下,参物比分别为 3:1、1:1、1:4 时,挡掉物光后观察到的全息再现像。

将晶体光轴旋转 180°,即令其 + c 方向位于物光一侧,仍取参物比为 3:1,所观察到的全息再现像(挡掉物光时)如图 5 所示。

作为量化比较,进一步测量了所观察到图像沿横向的灰度分布,如图 6 和图 7 所示。其中图 6 是对图 3 所示两幅图像在中部位置(短亮线段所示)的测量结果,曲线 1 和 2 分别与图 3(a)和图 3(b)对应。图 7 是对图 4 所示三幅图像在同样位置(短亮

线段所示)的测量结果,曲线 1、2、3 分别对应图 4(a)、图 4(b)和图 4(c)。

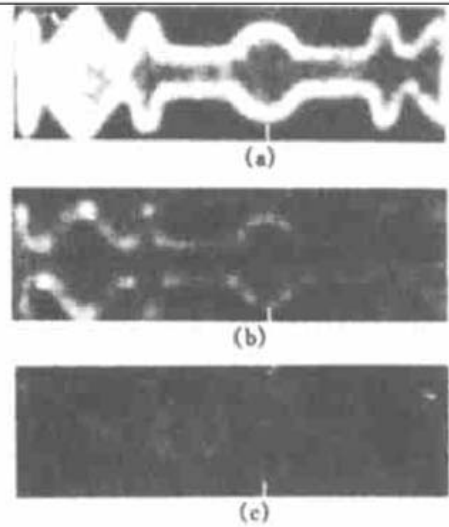


Fig. 4 Reconstructed holographic images under different I_r/I_s ratios (+ c axis: near reference beam). (a) 3:1; (b) 1:1; (c) 1:4



Fig. 5 Reconstructed holographic image in the case with + c axis near object beam ($I_r/I_s = 3:1$)

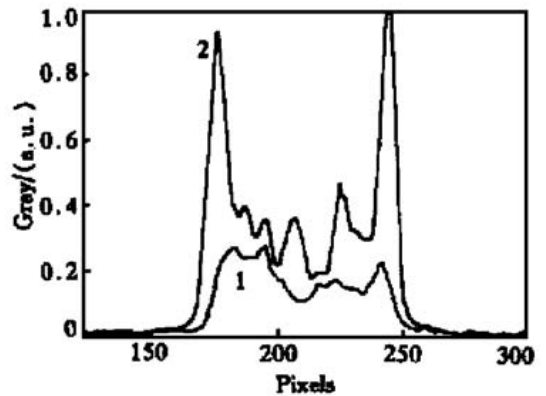


Fig. 6 Gray distribution of the images from Fig. 3 (along short line)

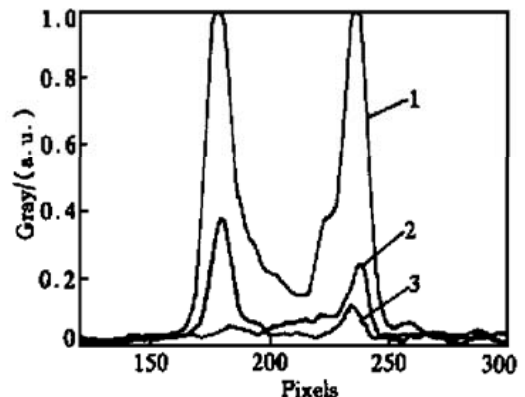


Fig. 7 Gray distribution of the images from Fig. 4 (along short line)

4 实验结果讨论

图 3 结果表明,参考光的加入使图像的边缘明显增强。显然,由于在频谱面上不同频率成分完全分离,上述实验结果不可能是物光波的不同空间频率成分之间的耦合所致,只能解释为参考光与物光间的耦合所致。

4.1 晶体光轴取向与能量转移方向

光折变两波耦合的最大特征是耦合过程中伴随着光波能量的转移。能量转移方向取决于晶体光轴的取向和晶体中占支配地位的载流子荷电符号^[8]。如果将单轴铁电晶体光轴的正方向定义为晶体极化时电场的负方向,则当晶体中占支配地位的载流子为正电荷时,两波耦合能量将向+ c 轴方向转移。反之亦然。SBN 晶体中占支配地位的载流子为电子,因此其能量转移总是向- c 轴方向。实验中正是利用两波耦合过程中能量的转移方向来确定晶体的+ c 轴方向的。在与图 3 和图 4 所得结果对应的实验中,测得参考光强度减小,物光强度增大,即能量由参考光向物光转移,因而判定+ c 轴方向靠参考光一侧。将光轴旋转 180° 后,测得参考光强度增大,物光强度减小,表明此时能量转移方向改为自物光向参考光,因而+ c 轴方向靠近物光一侧。这就是图 5 的结果。

4.2 参物比对边缘增强效果的影响

由图 3 和图 6 可以看出,虽然参考光的加入对整个图像的灰度级都有提高,但边缘部分提高得更多一些,反映出参考光对物光高低频的放大程度不同。引入参考光后,边缘的灰度级变为原值的 4 倍以上,而中间的灰度级只有原值的 1.5 倍左右。这说明当耦合处于参考光向物光转移能量情况时,参考光对物光中的低频成分和高频成分的放大增益不同。按照光折变两波耦合增益规律,在参考光向物光转移能量情况下,参物比越大,耦合增益也越大^[9]。这就是说,给定参考光强度下,物光中强度较大的低频成分(参物比相对较小)耦合增益较小,而强度较弱的高频成分(参物比相对较大)耦合增益较大。于是,在像平面上表现为图像的边缘强度相对增大。由图 4 和图 7 也可以看出,在给定晶体光轴取向情况下,不同参物比对边缘增强的效果有明显的影响。参物比越大,全息再现像的边缘灰度值增益越大;参物比越小,则边缘灰度值增益越小。

在参考光波放大物光波的情况下,我们还对较大和较小参物比(如 7:1,5:1,1:5,1:7等)的情况进

行了实验观察。发现参物比太大时,衍射很强,参考光对光学图像的边缘有较大的放大,同时参考光对相位栅的擦除也很快;参物比太小时,则参考光波对物光波的放大微乎其微。这说明要有效的实现边缘增强,参物比应相对较大。

其次,当耦合处于物光向参考光转移能量情况时,即对于图 5 结果,虽然物光的低频和高频成分都将同时减弱,但由于物光的低频成分较强,高频成分较弱,因此前者向参考光转移的能量更多一些,后者向参考光转移的能量则相对较少,其结果,仍然会出现边缘部分增强。

4.3 能量转移方向对边缘增强效果的影响

实验发现,在同样的参物比下,物光向参考光转移能量还是参考光向物光转移能量对全息再现像的影响不同,并且参考光向物光转移能量情况下对再现像边缘增强更为有效。比较图 4(a) 和图 5,两者是在同样的参物比下的全息再现像,区别仅在于图 4(a) 是在参考光向物光转移能量的情况下记录的,而图 5 则是在物光向参考光转移能量的情况下记录的。但图 4(a) 的效果明显优于图 5。其原因就在于前者是强光向弱光转移能量,后者则是弱光向强光转移能量。自然是前者引起的耦合增益较大,因而边缘增强的效果也较好。

结论 在以 Cr: SBN 晶体为记录介质的傅里叶变换全息信息读写实验中,通过参考光与物光的频谱在晶体中的光折变两波耦合,可以实现再现像的边缘增强。边缘增强的效果取决于两光束的强度比和晶体光轴的相对取向,后者决定了耦合过程的能量转移方向。在参考光向物光转移能量情况下,较大的参物比将获得较好的边缘增强效果。

从光信息处理的角度,放大物光频谱中的高频成分或减弱其低频成分都会起到突出其高频成分,即增强图像边缘的目的。在这里,Cr: SBN 晶体实际上起着一种滤波作用。这种滤波器结构简单,有别于传统的光学滤波器。并且由于其高的耦合增益、快速的响应和可擦除性,这种滤波器实际上是一种操作灵活的动态光学滤波器。其次,通过控制或选择不同的参物比,可以获得不同程度的边缘增强效果,这也是本方法用于图像边缘增强的重要特点。除 Cr: SBN 晶体外,我们也在 Cu: KNSBN 和 Rh: SBN 等光折变晶体中,观察到了类似的结果。

需要指出的是,考虑到实际晶体具有一定的厚度,所以也不能排除晶体中同时存在着物光的低频

成分对高频成分的耦合放大,但这不是本文讨论的主题。

晶体的生长、加工、极化处理和吸收特性测量等工作,是在德国 Osnabrück 大学物理系进行的,此项工作得到了德意志研究会(DFG)的资助(SFB225),在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨振寰 著. 母国光, 杨国光, 庄松林译. 光学信息处理. 天津: 南开大学出版社, 1986. 330~ 340
- [2] Wu Yuanqing, Xu Jingjun, Liu Simin *et al.*. Automatic low-frequency spatial filter that uses light-induced scattering in LiNbO₃:Fe crystal. *Appl. Opt.*, 1992, **31** (17): 3210~ 3212
- [3] 赵 桦, 孙万钧, 张景文 等. 实时图像反转及实时图像高低通滤波. 光学学报, 1995, **15**(6): 734~ 737
- [4] Feinberg J. Real-time edge enhancement using the photorefractive effect. *Opt. Lett.*, 1980, **5**(8): 330~ 332
- [5] Huignard J P, Herriau J P. Real-time coherent object edge reconstruction with Bi₁₂SiO₂₀ crystals. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(17): 2671~ 2672
- [6] Zhang Jingwen, Xu Haiying, Yuan Yang *et al.*. Real-time coherent image differentiation using a self-pumped phase conjugator with KNSBN: Cu. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(8): 1470~ 1472
- [7] 郑光昭. 利用阶跃滤波器实现二值图像边缘增强. 光学学报, 1996, **16**(8): 1197~ 1200
- [8] 岳学峰, 邵宗书. 光折变材料及其应用. 济南: 山东科学技术出版社, 1994. 158~ 159
- [9] Ewbank M D, Vazquez R A, Neurgaonkar R R *et al.*. Contradirectional two beam coupling in absorptive photorefractive materials: Application to Rb-doped strontium barium niobate (SBN: 60). *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1995, **12**(1): 87~ 98

Image Edge Enhancement Using Photorefractive Two-Wave Coupling in Cr: SBN Crystal

Zhao Jianlin Wu Jianjun Wang Bin Yang Dexing

(Department of Applied Physics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Kapphan S Pankrath R

(Fachbereich Physik, Universität Osnabrück, D-49069 Osnabrück, Germany)

(Received 11 September 2000; revised 20 November 2000)

Abstract: A new method is presented to enhance the image edge using photorefractive two-wave coupling. In the setup for real-time writing and reading, the Fourier-transform hologram using Cr: SBN crystal as the recording medium, the spatially separated high and low frequency components of the object beam will couple with the reference beam individually. The coupling results in the enhancement of the relatively weak high frequency component, because the intensity of the high frequency carrying the edge information of the object is much weaker than that of the low frequency. It is discussed that the influences of the crystal axis orientation and the intensity ratio of the reference beam to object beam on the image edge enhancement. The physical mechanism of the image edge enhancement under different reference-object ratio is analyzed. This Cr: SBN crystal can be used as a model of optical dynamic filtering for image edge enhancement.

Key words: photorefractive two-wave coupling; Cr: SBN crystal; edge enhancement; dynamic filtering