

用非线性晶体的相位共轭特性记录 扫描全息图

平子良

(内蒙古师范大学物理系 呼和浩特 010022)

Erik. Dalsgaard

(丹麦技术大学)

提要 提出一种用非线性晶体的相位共轭特性记录扫描全息图的方法。给出了记录方法的基本原理、记录光路和实验结果。

关键词 相位共轭波前, 扫描全息图, 非线性晶体

1 引 言

三维物体的显微成像在生物、医学及半导体工业中有着广泛的应用。现有文献中有关三维物体显微成像技术有光学切片显微成像技术(OSM)^[1]、共焦激光扫描显微成像技术(SCM)^[2]和光学扫描全息技术(OSH)^[3]等方法, 在这些显微成像技术中都采用了扫描技术, 前两种方法都是图像合成的方法, 后一种方法应用全息成像技术直接获取三维图像。

文献[3]的光学扫描全息(OSH)中采用一个与时间相关的菲涅尔波带片对三维物体进行二维扫描, 其透射光由一个光探测器接收, 然后将解调信号(是一个菲涅尔波带片编码的全息像)送入计算机存储以备进行光学显示和数字显示, 从而再现一个三维图像。这种方法除了采用扫描技术以外还对光波进行调制和解调, 实际上是一个光电混合方法, 结构和装置都比较复杂。本文提出一种应用非线性晶体相位共轭特性记录扫描全息图的方法。使用光束直接扫描物体进行全息记录, 是很困难的。因为被扫描光束照亮的物光点的照明时间很短暂, 几乎是瞬时的, 以连续光波作参考光波进行全息记录, 几乎是不可能的。

某些非线性晶体具有相位共轭特性, 其共轭波前可以持续较长时间, 足以进行全息记录。所以可以用非线性晶体的共轭波前作为物光波, 以连续光波作为参考光波进行全息记录。

2 非线性晶体的相位共轭特性及全息记录

相位共轭反射镜不仅可以使入射光波的传播方向反转, 而且可以精确地使入射光波的波前发生共轭, 因此可以精确地重复入射光波的光路而反向传播, 形成共轭光波^[4]。可以用具有第三级非线性光学特性的晶体以四波混频或者受激散射来产生共轭光波^[5]。可以近似认为具有第三级非线性特性的材料的折射率变化是由入射光的强度决定的。本文以四波混频方式产

生相位共轭光波。

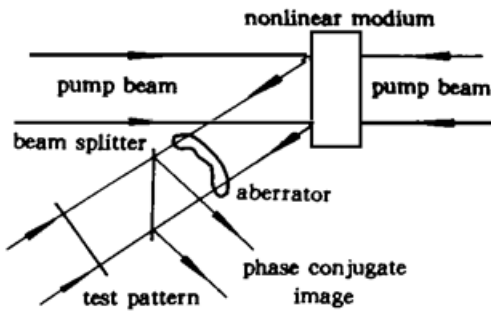


图 1 由四波混频产生的相位共轭光束

Fig. 1 The phase conjugate beam generated by four-wave mixing

图 1 中两束反向传播的平面泵浦波入射到非线性晶体材料上。这种晶体的光波折射率的大小是由入射光强的决定的。另有一束强度较小的探测光波相叠加形成光栅。后向传播的泵浦光波经此光栅衍射。衍射光波精确地形成探测光波的共轭光波。

对于某种确定的非线性晶体,其时间响应可以进行理论计算^[6],但文献[7]对非线性晶体响应时间进行了实验研究并给出了详细的实验结果。实验证明,响应时间常数 τ 与以下三种因素有关:(1) 所有入射光束的总光强 I ; (2) 加速场强 E 的大小; (3) 晶体中光栅间距 A 的大小(此间距随泵浦光束与探测光束之间的夹角 θ 而变化)。一般讲, I 和 A 越大,则相应时间常数 τ 越短,加速场强 E 越大相应时间常数 τ 越长,因此,可在总光强 I 、夹角 θ 和加速场强 E 三者之间作适当的折中,使得晶体中相干条纹的写-擦时间间隔足够长,因而共轭波前能够持续足够长的时间,从而进行全息记录。

设物光波为

$$O = E_0 e^{j\phi_0}$$

设光波经非线性晶体共轭反射镜后,光波成为物光波的共轭光波

$$O^* = E_0 \cdot e^{-j\phi_0} \cdot e^{j\omega t}$$

在共轭光波持续的足够长时间间隔内可以认为光波的振幅是时间平均的:

$$O = 1/\tau \int_0^\tau E_0 e^{-j\phi_0} \cdot e^{j\omega t} dt = [E_0(e^{j\omega\tau} - 1) \cdot e^{-j\phi_0}] / J\omega\tau = \alpha e^{-j\phi_0} \quad (1)$$

设引入参考光波为 $R = R_0 e^{j\phi_R}$ 。进行物光波和参考光波的相干全息记录,则全息图的振幅透射率为

$$\begin{aligned} \tau_H \propto I &= |O + R|^2 = |\alpha E_0 e^{-j\phi_0} + R_0 e^{j\phi_R}|^2 \\ &= \alpha^2 E_0^2 + R_0^2 + \alpha E_0 R_0 e^{j(\phi_0 - \phi_R)} + \alpha E_0 R_0 e^{-j(\phi_0 - \phi_R)} \end{aligned} \quad (2)$$

用原参考光进行再现,则得到出射光波为

$$i = \tau_H \cdot R = (\alpha^2 E_0^2 + R_0^2) \cdot R_0 e^{j\phi_R} + \alpha E_0 R_0 \cdot e^{j\phi_0} + \alpha E_0 R_0 \cdot e^{-j\phi_0} \cdot e^{j2\phi_R} \quad (3)$$

在(3)式中的第二项就是振幅变化了的物光波。

3 实验装置和结果

图 2 中有三束光波。光波 1 是参考光波,光波 2 是泵浦光波,光波 3 是探测光波,光束 2 经过非线性晶体 C 共轭后,由反射镜 B_4 反向并重新入射到晶体上,形成后向传播的泵浦光束。 M 是由振动驱动的反射镜。由 M 反射的细光束,经过透镜 L 聚焦在非线性晶体 C 上。由于晶体的相位共轭特性,扫描线的相位共轭波前将精确地按原光路反向传播,并在平面 P 上形成一扫描线的实像。全息记录介质置于稍微远离 P 的位置,在这里成像光波将稍微有所散开。参考光束 1 也引入记录介质上。

我们采用 BSO 非线性晶体。这种晶体材料光学折射率依赖于入射光波的强度,灵敏度较高。实验中泵浦光波与探测光波的强度比很重要,我们取大约 3:1 的比率。物光波和参考光波之间的相干性必须确保。我们使用的 Ar^+ 激光器的相干长度较短,所以实验中调整参、物光程,

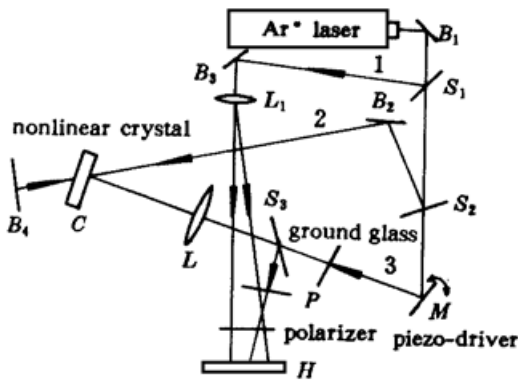


图 2 扫描全息图记录装置

Fig. 2 The setup of recording the scanning hologram

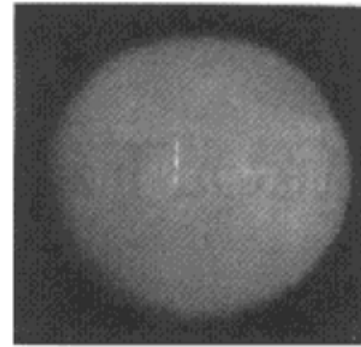


图 3 实验结果

Fig. 3 Experimental result showing a scanning hologram

使之相等。相位共轭光波与反射光波的偏振特性是不同的。在记录介质前面放置一块偏振片, 使物光波和参考光波以同一偏振方向入射到记录介质上。在入射总光强 I , 加速电压 E , 泵浦光束与探测光束夹角 θ 之间进行适当折中、调节, 就可以得到扫描全息图。图 3 是扫描全息图的照片。在圆斑中细线是扫描线的全息像。

致谢 感谢丹麦技术大学物理系 Paul. Michael 博士在整个工作中给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 D. A. Agard. Optical sectioning microscopy: cellular architecture in three dimensions. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, 1984, 13 : 191~ 219
- 2 T. Wilson, Ed., confocal microscopy. London : Academic Press, 1990
- 3 Ting-Chung Poon, Kyu B. Doh, Bradley W. Schilling *et al.*. Three-dimensional microscopy by optical scanning holography. *Opt. Engin.*, 1995, 34(5) : 1338~ 1344
- 4 Giuliano C. R.. Application of optical phase conjugation. *Phys. Today*, 1981, 41(4) : 27~ 35
- 5 Feinberg J. Photorefractive nonlinear optics. *Phys. Today*, 1988, 41(10) : 46~ 52
- 6 T. Morok, P. E. Anderson, Westergaard. Processing speed of photorefractive optical correlation in PIV-processing. Sixth International Symposium of Application of Laser Technique to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, 1992 : 20~ 23
- 7 Günter P.. Holography, coherent light amplification and optical phase conjugation with photorefractive materials. *Phys. Reports*, 1982, 3(4) : 199~ 299

A Scanning Hologram Recorded Through Phase Conjugate Property of Nonlinear Crystal

Ping Ziliang

(Inner Mongolia Normal University, Huhehaote 010022)

Erik. Dalsgaard

(The Technical University of Denmark)

Abstract A method of recording a scanning hologram with the phase conjugate property of nonlinear crystal is presented. The principle of recording, the recording setup and the experimental results are given.

Key words phase conjugate wavefront, scanning hologram, nonlinear crystal