

相位共轭多模光纤传像 偏振特性及对像传输的影响*

林 旦 杨国光 顾天衢
(浙江大学光学仪器系)

何崇藩 李雪梅 唐沅汾
(中国科学院上海硅酸盐研究所)

提 要

本文分析并研究了用相位复共轭进行单根多模光纤传像时的光线偏振特性及其对像传输的影响。提出了检偏滤波方法,用这种方法可以十分有效地减少噪声,提高图像质量。本文给出了理论分析及实验结果,获得 40 lines/mm 分辨率的传输图像。

关键词: 相位共轭。

一、前 言

用光纤束进行传像,除价格高以外,主要是断束后图像出现盲区,并难以修复^[1]。因此人们寻求特别是单根多模光纤传像。我们知道,芯径足够粗的多模光纤可以激发出相当数量的导模,每种模式可视为一路信息通道,因此有可能利用一根多模光纤传输一幅二维图像。但实际上当一幅图像耦合入一根多模光纤时,由于模式耦合以及光在光纤内壁多次反射等原因,在光纤出射端出现的却是散斑图形,图像信息被完全搅乱,难以提取或重整。Yariv^[2]提出了用相位复共轭方法来恢复图像:在光纤的出射端进行相位复共轭,然后再使光线通过一根与原光纤完全相同的光纤,进行相位补偿,就能恢复原图像。问题是现实中不存在与原光纤完全相同的光纤,除非是这根光纤本身。有人做过这方面的研究工作,但未注意光的偏振特性对图像恢复的影响,直到最近才开始进行研究^[3]。我们研究了一对光纤传像工作,取得了进展。我们的方法是在低功率 He-Ne 激光照明下(20 mW 左右),用掺铈铌酸锶钡($\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Ce}$, 简称 SBN:Ce)在简并四波混频(DFWM)下获得共轭波,并利用光的偏振滤波获得了单根多模光纤传输二维图像,图像分辨率达到 40 lines/mm,采用的 SBN:Ce, Ba: 0.48%, Ce: 0.1%,由中科院上海硅酸盐所提供。

二、原理与理论

利用相位共轭进行单根多模光纤传像的装置原理如图 1 所示。主要的原理是利用

收稿日期: 1988 年 4 月 18 日; 收到修改稿日期: 1988 年 12 月 21 日

* 本论文受国家自然科学基金的资助。

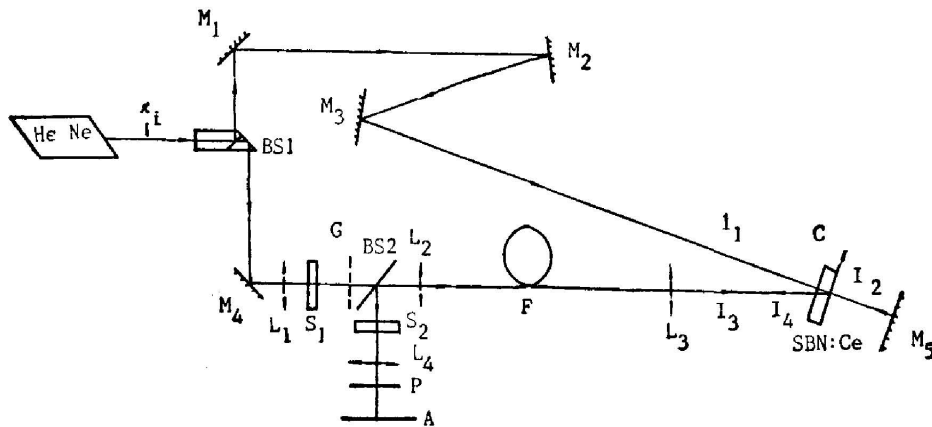


Fig. 1

He-Ne 激光在光致变折射率晶体 (Photorefractive Crystal) SBN:Ce 中实现简并四波混频 (DFWM), 产生相位复共轭波^[4], 达到相位补偿目的。然后利用偏振特性, 在图像输出端放置检偏器, 就获得一幅高分辨的传输图像。

图 1 中 He-Ne 激光器发出一束线偏振光 (功率 25 mW), 经分束器 BS1 后分成两束, 一束经反射镜 M_4 反射后, 为能使高分辨图像 G 更好地耦合入光纤, 先由 L_1 进行扩束, 经快门 S_1 后投射到作为输入物体的, 一块 40 lines/mm 的朗奇光栅 G 上, 透镜 L_2 为 10× 的显微物镜, 用于光纤耦合。纤光 F 长 1.2 m, 折射率阶梯分布, 芯径 $\phi 0.5$ mm, 数值孔径约 0.25。光从光纤出射后经 L_3 聚焦, 形成信号光 I_3 , 并投射到光致折变晶体 SBN:Ce 上, 其光轴 c 放置在纸平面内。由分束器 BS1 分出的另一束光经 M_1, M_2, M_3 反射使其延长光路, 作为泵浦光 I_1 投射到 SBN:Ce 上。另外 I_1 的透过部分经 M_5 反射后作为另一束泵浦光 I_2 照射晶体。由于泵浦光 I_1, I_2 与信号光 I_3 在此晶体内是彼此相干的, 混和作用产生 I_3 的共轭光 I_4 , 即四波混频作用。共轭光 I_4 按信号光原路反相, 经透镜 L_3 再返回耦合入光纤, 从而实现相位补偿。这样, 当它达到光纤另一端, 再经透镜 L_2 后即获得图像恢复, 并由分束器 BS2 取出。值得研究的是: 由于光纤的退偏作用, 由 He-Ne 激光器传来的线偏振光在光纤出射端出射时, 已不再是偏振光, 而且两个方向的偏振分量基本相等 (模完全搅合时)。当投射到 SBN:Ce 上后, 只有偏振分量与晶体光轴 c 平行的那部分才能形成共轭波 I_4 , 并按原路返回。当 I_4 再经光纤 F 后, 又一次被退偏。实验证明, 只有偏振态和初始入射光平行的那部分, 大部分是包含被恢复了图像的信息。而垂直分量的大部分是噪声。用数学模式表示如下:

入射端的光波, 按光纤模式展开成

$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{X}_i \sum_m a_m E_{1m}, \quad (1)$$

式中: \mathbf{X}_i 为方向在纸面的单位矢量 (见图 1); E_{1m} 是某一导模的电场; a_m 是其振幅。设光纤无损耗, 在其出射端由于退偏振, 其光偏振 \mathbf{A}_2 为:

$$\mathbf{A}_2 = \mathbf{X}_i \sum_m a'_m E_{1m} \exp(i\beta_m L) + \mathbf{Y}_i \sum_m b'_m E_{2m} \exp(i\alpha_m L), \quad (2)$$

式中: L 为光纤长度; β_m 和 α_m 为对应的传输常数。经 SBN:Ce 组成的共轭镜反射后, 由于 SBN:Ce 的特性, 只有 \mathbf{X}_i 分量被共轭产生, 然后返回光纤, 所以

$$A_4 = X_i \sum_m \alpha_m'^* E_{1m}^* \exp(-i\beta_m L) \quad (3)$$

经过光纤传输后又一次被退偏, 得 A :

$$A = X_i \sum_m \alpha_m''^* E_{1m}^* + Y_i \sum_m C_m E_{3m} \exp(i\gamma_m L) \quad (4)$$

上面(1)~(3)式中 $|A_i|^2 = I_i$ ($i=1, 2, 4$)。从最后结果的(4)式中可以看出, 只有第一项含有原图像的信息, 是传输图像所需要的, 而 Y_i 分量则基本可视作噪声。事实上(4)式中还应附加一个小项 E_N , 也属于噪声。而且在 X_i 方向上也存在。这一项是由另外原因造成, 比如光纤出射端经过透镜 L_3 与 SBN:Ce 成物像关系, 由于 SBN:Ce 的散射等原因, 可能引入一些杂散光, 这些杂散光经 L_3 耦合射光纤, 在出射端形成噪声 E_N 。这一项虽不能完全消除, 但可以通过光纤出射端和 SBN:Ce 偏离物像关系以及适当缩小 L_3 的通光口径来减小。

基于以上分析, 可在出射光束经分束器 BS2 分束后, 设置一块检偏器, 检出 X_i 方向上的平行分量, 再经透镜 L_4 成像并在 A 处记录, 这是完全基于晶体中的 DFWM 来实现光纤图像传输的。在实验中还发现此时由于光纤输入端的空气-玻璃界面反射, 会在再现图像上叠加一个较大的噪声背景, 十分不利于图像观察。

为了消除光纤输入端的空气-玻璃界面所引起的反射光, 经 BS2 后进入 A 面, 形成额外噪声, 可在输入端面镀涂增透膜, 以减少表面散射。我们用设置两个电子快门 S_1 及 S_2 来解决的。 S_1 及 S_2 由单板机控制开关及开关的时间常数, 当 S_1 打开时 S_2 关闭, S_1 关闭时 S_2 打开。开关常数由晶体记录消除时间常数所决定, 根据实验取开启时间等于关闭时间, 均为 4sec。当 S_1 打开时光线通过, 在 SBN:Ce 内形成实时全息图, 此时 S_2 关闭, 在 A 处进行记录。一定时间后, S_1 关闭, 这时由于晶体的存贮效应, 全息光栅仍然存在, 在 I_2 照射下就产生再现光, 并投射于晶体上为 I_3 的波前, 但传播方向相反, 此波前由 S_2 进入 A 而记录。用这种方法, 可以完全消除由空气-玻璃界面引入光纤的反射噪声。这时, 晶体的作用类似于实时全息记录再现器。在这种情况下, 要求记录再现时间内, 外界条件的变化对光纤的影响应忽略不计, 若外界条件变化导致光纤输出端面各点光强随时间的变化较大, 那么就要求用严格的 DFWM 方法实现图像的相位补偿来恢复原始图像, 端面散射引入的噪声只能用表面镀膜或其他方法来解决。

三、实验结果及讨论

图 2 所示的四张照片是图 1 实验系统所获得的结果。其中 a) 为不加检偏器时所获得的结果, 这仍然是一个散斑场, 看不到光栅 G 的图像。b) 为加上检偏器后, 但通过方向为 Y_i 时获得的光栅图像, 很不清楚。c) 为加上检偏器后, 通过方向为 X_i 时, 获得的光栅图像, 已经清楚。d) 再采用空间滤波等方法, 消除散斑背景后, 获得的光栅图像, 分辨率可以超过 40 lines/mm。

实验结果表明, 加检偏器以及控制检偏器方向, 对图像传输质量有极大的影响。当通过 X_i 时所获得的图像质量最佳, 但仍有一定噪声。对此, 除了上文的分析外, 根据公式(1)、(4), 可以认为是偏振光通过光纤退偏作用时, 各个模式对应正交模耦合的程度不同所致。另外图像中体现细节的条纹边缘不够清晰明锐, 这是由于图像分辨率本身较高, 在耦合时难以

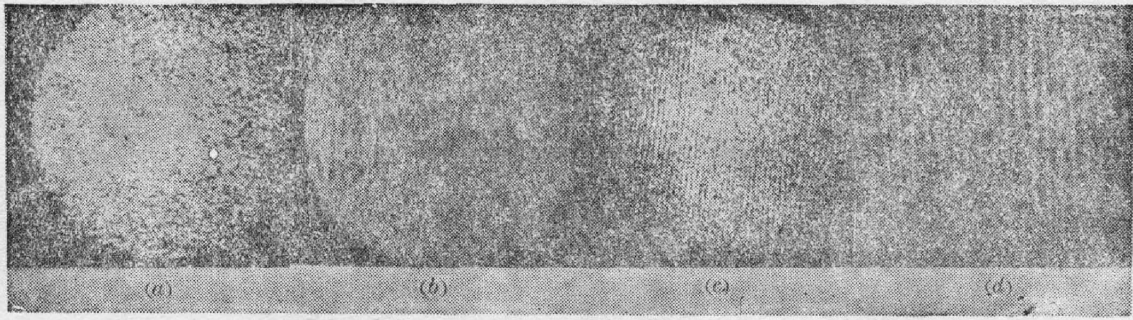


Fig. 2

将高级次的衍射分量耦合入光纤, 如果采用芯径更大($>0.5\text{ mm}$)的光纤, 则图像边缘对比将明显改善。因为光纤越粗, 传输模式越多, 能传输的信息量也越多, 图像细节(高频成份)也越多。我们的实验和分析证明, 光的偏振特性对相位共轭法在单根多模光纤图像传输中, 起着很大的作用, 是今后原理及技术研究中必须注意之处。

参 考 文 献

- [1] C. J. Koester; *J. O. S. A.*, 1968, **58**, No. 1 (Jan), 63~70.
- [2] A. Yariv; *J. O. S. A.*, 1976, **66**, No. 4 (Apr), 301~311.
- [3] I. McMichael *et al.*; *Opt. Lett.*, 1987, **12**, No. 7 (Jul), 507~509.
- [4] 丹野直弘;《光学》(日文), 1983, **12**, No. 3 (Mar), 214~217.

The property of light polarization in single multimode optical fiber and its effect on the image transmitted using phase conjugation

LIN DAN, YANG GUOGUANG, AND GU TIANQU

(Department of Optical Instrument Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)

HE CHONGFAN, LI XIEMEI, AND TANG YUANFENG

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

(Received 18 April 1988; revised 21 December 1988)

Abstract

The polarization property of the light beam carrying an image while passing through a multimode step-index optical fiber and its effect on the quality of the image transmission by phase conjugation are studied in this paper. The method of filtering the noise is suggested. With this method, main part of the noise can be reduced and the image quality can be improved. Both the theoretical analysis and experimental results are given, and a transmitted image with a resolution of 40 line/mm is obtained.

Key words: phase conjugation.