

全光纤全息技术的研究与实现

周效东 汤伟中 周 文

(浙江大学信息与电子工程学系, 浙江大学六和塔分部 140 信箱, 310008)

摘要: 本文对全光纤全息系统的原理、器件选择和实现手段进行了研究, 采用光纤迈克耳逊干涉仪稳相结构建立了可应用于多种全息结构的全光纤全息系统, 拍摄出了具有较为清晰再现象的全息图。本文结果证实了光纤全息系统在把全息技术用于现场实用方面的巨大潜力, 为全息技术的进一步研究奠定了基础。

关键词: 光纤迈克耳逊干涉仪 全息

All fiber holographic system for endoscopic holography

Zhou Xiaodong, Tang Weizhong, Zhou Wen

(Dept. of the Information & Electronic, Zhejiang University)

Abstract: This paper discusses the principle, device selection and implementation of an all fiber optical holographic system. By using an all fiber optical Michelson interferometer phase stabilization holographic configuration, an all fiber holographic system has been established, with it the holograms with clear reconstructed image can be taken, and the system can be used in a great variety of experimental configurations. The results proved the potential of the fiber optical holographic technology in practical applications, and lay a foundation for further research.

Key words: fiber Michelson interferometer holograph

一、引 言

随着低损耗、高质量光纤及光纤器件的出现在 70 年代应运而生的光纤全息技术^[1], 不仅在结构上取代了传统全息中的分立体光学元件, 使之能够应用于工业现场和医学临床, 而且由于光纤传输损耗低、细小柔韧、抗电磁干扰、耐腐蚀, 适用于复杂结构、封闭结构、远距离及危险、具有腐蚀性等恶劣环境中的全息探测^[2]。其中全光纤全息系统体积小、结构简单、光路稳定抗震, 有望成为仪器化的实用全息系统, 在工业和医学等领域有很大的应用前景。

全光纤全息系统设计主要要考虑的技术问题有: (1) 温度、振动等外界环境变化将引起光纤中的随机相位漂移, 物照明光出射光纤和参考光出射光纤中的相位变化使全息记录受阻。(2) 光纤的孔径小, 耦合进光纤的光能有限, 并在入射光束很强时出现非线性效应, 限制了物体

的视场。(3)普通的光纤耦合器耦合比固定,难以改变物光波和参考光波的强变比保证高对比度的干涉条纹。此外,还有光纤的偏振和能量分布性质、激光到光纤的耦合等问题。

本文针对全光纤全息技术面临的主要问题,对全光纤全息系统进行了理论和实验研究。

二、器件选择

1. 全息光源

与通常的全息技术相对应,光纤全息也分为连续激光光纤全息和脉冲激光光纤全息。

光纤全息采用的连续激光光源通常是单横模多纵模输出的氦氖激光器或氩离子激光器。这种结构的激光器的空间相干度为1,时间相干度为

$$|\mu_T| = \left| \frac{\sin(N\pi c\tau/2L)}{N\sin(\pi c\tau/2L)} \right| \quad (1)$$

式中, τ 为时间差, L 为腔长, c 为光速, N 为模数。由于干涉条纹的可见度与时间相干度成正比,为了提高条纹可见度和全息图的衍射效率,应当使激光器的时间相干性尽可能好。由 $|\mu_T| = 1/2$ 可确定相干长度。

脉冲光纤全息由于能量大,曝光时间短,不需要附加相位稳定系统,并能拍摄运动物体瞬间的情景。为了有较好的相干性一般采用单横模多纵模的红宝石激光器。由于脉冲光源的峰值光功率高易在光纤中引起非线性效应,使选定频率上耦合的光能反而小;聚束难度大,难以采用芯径较细的单模光纤,在光纤全息系统中一般选用连续激光光源。

2. 光纤的选用

就光纤的传光性而言,光纤全息可以用单模光纤、多模光纤或光纤传象束。

多模光纤的纤芯大,传输的能量较大。但多模光纤中存在着许多模式的光干涉,辐射斑点图对外部条件十分敏感,相位漂移难于补偿,其偏振态去偏导致条纹可见度的降低和再现效率下降,因而在光纤全息技术中不甚引人注目。

光纤全息系统多采用单模光纤,因其出射光强近似为高斯分布。当光纤孔径与端面到被计算的平面的距离相比很小(即远场)时,只用辐射的中心部分,目标平面为均匀平面波,因而用单模光纤可以不用空间滤波器。在一般的单模光纤使用中,即使用线偏振光激励,光输出受外界影响为椭圆偏振,增加了本底光噪声,因而最好用保偏光纤。

光纤传象束多为多模光纤传象束,主要用于传导干涉图,这时多模光纤的弯曲和漂移对全息图再现影响不大。但其分辨率一般只有30 line/mm,物体的空间分辨率不能太高。

3. 耦合透镜

激光耦合到光纤中的效率应尽可能高。光可以经过一个显微镜聚焦后进入光纤。经显微镜透镜聚焦后的高斯激光束应大约比光纤芯径大10%。对于焦距 f 的透镜,它前面的光束直径

$$D = 3.65\lambda f/\pi d \quad (2)$$

式中, λ 为激光波长, d 为纤芯直径。为了保证高效率耦合,还需要保持光纤端面的洁净和平整。

三、原理

用光纤迈克耳逊干涉仪控制相位稳定的原理如图1所示。

从激光器出射的光经透镜聚焦直接耦合到光纤耦合器 C 的一端分为两路 L_1 和 L_2 , 构成光纤迈克耳逊干涉仪的两臂。从两根光纤 L_1 及 L_2 端面反射的光波在 L_3 形成干涉。

光纤耦合器 C 为耦合比 $m_1 : m_2$ 的 90° 相移定向耦合器。设 4 端的入射光为 E_1 , $\varphi_1(t)$ 光纤在长度为 l_i 的 L_i 段光纤中的相移, 式中, $l = 1, 2, 3, 4$ 。如 1 端和 2 端的反射系数为 r_1 和 r_2 , 则 3 端光电二极管检测到的光强为:

$$\begin{aligned}
 I_3 &= E_3 \cdot E_3^* \\
 &= m_1^2 m_2^2 |E_1|^2 \{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos[2k(l_2 - l_1) + 2\varphi_2(t) - 2\varphi_1(t)]\} \\
 &= I_0(1 + \eta \cos 2\theta)
 \end{aligned} \tag{4}$$

式中, $I_0 = m_1^2 m_2^2 |E_1|^2 (r_1^2 + r_2^2)$, $\eta = 2r_1 r_2 / (r_1^2 + r_2^2)$, $\theta = k(l_2 - l_1) + \varphi_2(t) - \varphi_1(t)$ 为 L_1 和 L_2 臂中的相差。

由于 I_3 检测到的信号在 $\theta \approx 45^\circ$ 时与 2θ 近似成线性关系且灵敏度最大, 在系统中将迈克耳逊干涉仪检测得的信号输入差动积分电路提取相位信息 $I_0 \cos 2\theta$, 再经过两级积分给反馈系统提供一个漂移校正信号。该信号加到 PZT_1 上, 使 PZT_1 伸缩导致绕于其上的 L_1 臂光纤相应伸缩改变相位, 补偿光纤中的相位漂移。当补偿信号到达极限时, 复位电路使之恢复到重新启动的初始状态以达到连续补偿的作用。由于 $I_0 \cos 2\theta \neq 0$ 时均有补偿, 该系统处动稳相在 $\theta \approx 45^\circ$ 附近。

如在 L_2 臂上加一个正弦调制信号, 两臂中的相差将为

$$\varphi(t) = \theta + \beta \sin \omega t \tag{5}$$

式中, ω 为正弦调制频率, θ 为光纤干涉仪中的漂移引起的相差。小信号调制时 $\beta \ll 1$, 则检测到的光强为

$$I_3(t) = I_0 + \eta I_0 \cos 2\theta - 2\eta I_0 \sin 2\theta J_1(2\beta) \sin \omega t \tag{6}$$

当 $\theta = \pi/4$ 时, 检测到的是正弦信号。

进行稳相分析如下。假设回路增益足够大, 系统保持在正交状态, 可以用线性方程来描述该系统^[3],

$$V_0(s) = [\theta_i(s) - \theta_f(s)]G(s) \tag{7}$$

式中, $V_0(s)$ 为输出信号的拉氏变换, $\theta_i(s)$ 和 $\theta_f(s)$ 为输入信号和反馈信号的拉氏变换, $G(s)$ 为开环增益。

设第一级差动积分器增益 $K_P(s) = K_1/s$, 第二级比例积分器增益 $K_I(s) = K_2(s+a)/s$, $K = K_D K_F K_1 K_2$, 式中, K_F 为光纤绕在 PZT 上的转换增益, K_D 为光电检测电路的增益, 则该系统的闭环传递函数为

$$T(s) = \frac{K_s + K_a}{s^2 + K_s + K_a} \tag{8}$$

根据罗斯-霍尔维兹稳定性准则, $K > 0, a > 0$, 该系统稳定。

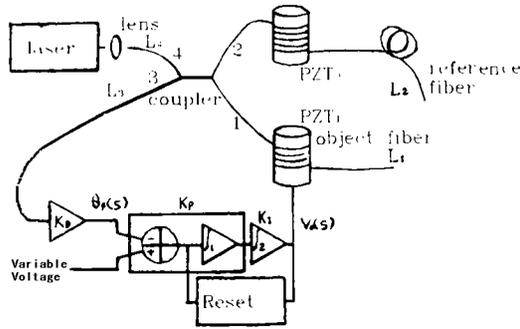


Fig. 1 Scheme of stabilized Michelson fiber interferometers

M63Saito F. Appl Opt. 34(2):121
1995;747:25 Jeong T H. SPIE. 19
53(7): 826 SFuenschinkumAdelofye

光纤通信系统(周敏杰(博士生)研究)作。

光纤通信系统(周敏杰(博士生)研究)作。

收稿日期:1995-05-05 收到修

版权所有 © 《激光技术》编辑部