

类似(11)式,求解,

$$\frac{\partial \delta \phi_4}{\partial z} + P(z) \delta \phi_4 = \frac{1}{i} P(z) (e^{-i\phi} - 1) \quad (16)$$

(16)式即为一般求解近似条件下,读出光波 $\delta \phi_4$ 所满足的微分方程。如果我们考虑到三个入射波的微扰近似,则(16)式右端 $e^{i\phi} \approx 1 + i\phi$, 这样便得到和(13)式相同的表达式。

3.2 读出波背景噪声的讨论

对于读出的相位复共轭波,由于入射波的畸变效应,使 E_4 也携带着位相畸变因子($i\delta \phi_4$),将 $|\delta \phi_4|$ 称为背景噪声,根据 $E_4 = E_{04} + E'_{04}$,由(3)式得到读出光波的信噪比为 $1/|\delta \phi_4|$ 。

由(14)可看出,提高信噪比的关键是减小 $|\phi|$ 。又因为 $|\phi| = |\delta \phi_1 + \delta \phi_2 - \delta \phi_3|$,即一种方法是对泵浦对、信号波的各个畸变量进行控制,使其减小到最小程度;另一种方法是调整光路系统,使总的 $|\phi|$ 减

小到最小程度,尤其要注意的是合理调整光路,使两泵浦波对准的误差减小和降低畸变之和相等。

本文初稿完成后,蒙何绍宇研究员的审阅。石顺详副教授也审阅了全文并和作者进行过有益讨论。在此一并致谢

参 考 文 献

1. Y. H. Ja, *Opt. Commun.*, **42**, 6 (1982)
2. Y. H. Ja, *Opt. Commun.*, **44**, 1 (1982)
3. N. A. Vainos and R. W. Eason, *Opt. Commun.*, **59**, 3 (1986)
4. V. Markov, S. Odulov and M. Soskn, *Opt. and Laser Tech.*, April, 95(1979)
5. Y. R. Shen, *The Principle of Nonlinear Optics*, (Sohn Wiley and Sons, Inc. New York 1984).
6. N. Chen, *Opt. Commun.*, **59**, 1(1986)

(收稿日期: 1987年9月16日)

测量物理场参量微小变化的光纤全息干涉法

李正直 郭邦俊 朱又迈 田志伟

(杭州大学物理系)

Holographic interferometry through mono-mode optical fibers in minute variation measurement of physical field parameters

Li Zhengzhi, Guo Bangjun, Zhu Youman, Tian Zhiwei
(Department of Physics, Hangzhou University, Hangzhou)

Abstract: We describe a holographic method through fiber optics in which the interference field is formed behind the hologram by the informational wave and the ideal comparative wave.

1. 在物方光纤一臂中放置一张预先拍摄好的全息图,它只携带物方光路中包括光纤在内所有光学元件的信息。以该全息图的重现物波作为测量用的理想比较波,当物方光纤中一部分置于被测物理场内时,被测物理场参量的变化将反映在该光纤出射的光波中,称它为信息物波。信息波和理想比较波在全息图后形成干涉场,它把反映被测物理场参量变化的信息转变成干涉场的条纹移动。通过对干涉场的条纹移动进行测量,就可以提取出被测物理场参量变化的信息。

这里以温度场为对象,阐述这种方法的原理,并通过实验探讨了该方法的特点。

2. 单色光在光纤中传播时,它的位相 ϕ 取决于制造光纤纤芯材料的折射率 n 和光纤长度 L ^[1,2]。略掉光纤直径和光的入射角变化所产生的影响,它可由下式表示:

$$\phi(T) = \frac{2\pi}{\lambda} L \cdot n \quad (1)$$

式中 λ 是单色光的波长, T 是光纤所在温度场的温度值。当温度变化 ΔT 时,光束的相位变化 $\Delta \phi$ 为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \left(n \frac{\partial L}{\partial T} + L \frac{\partial n}{\partial T} \right) \Delta T \quad (2)$$

对于 $\frac{\partial L}{\partial T}$ 和 $\frac{\partial n}{\partial T}$ 在较小的温度间隔内基本保持不变时, $\Delta\phi$ 和 ΔT 可近似看成具有线性关系。通过测量光束位相变化 $\Delta\phi$, 便可测量温度变化 ΔT 。本方法中位相变化 $\Delta\phi$ 的获得是通过全息干涉的测量来完成的。

参照图 1, 设 O 为物波光纤, R 为参考波光纤。当两光纤出射端相交成 θ 角和离记录介质 H 的长度 l 满足记录介质的分辨率要求时, 在 H 处就可记录下菲涅耳全息图。把经处理后的全息图放置于原来位置, 在全息图后面再重现出初始物波 O , 令其复振幅为

$$U_0 = a_0 e^{i\phi_0} \quad (3)$$

接着改变原物光路中的温度场的温度, 此时出射的物波发生变化, 称它为信息物波 O' , 令其复振幅为

$$U_{0'} = a_0' e^{i\phi(T)} \quad (4)$$

而初始物光波 O 现作为理想比较波, 在全息图后, 它与信息物波 O' 形成干涉场。这可由图 2 来说明。图中 O' 和 O 表示信息波和理想比较波 O 重叠在一起, R 是原先参考波方向上的波场。信息波 O' 和理想比较波 O 形成的干涉强度分布为

$$\begin{aligned} I &= |U_0 + U_{0'}|^2 \\ &= a_0^2 + a_0'^2 + 2a_0 a_0' \cos[\phi(T) - \phi_0] \end{aligned} \quad (5)$$

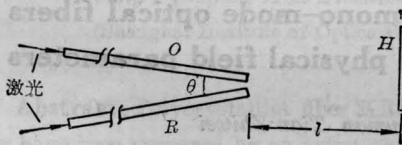


图 1 全息干涉示意图

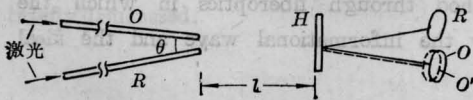


图 2 全息图后干涉场的形成

当全息图精确复位时, 信息波前 O' 和理想比较波前 O 在干涉场中完全重合, 干涉场的强度随 $\phi(T)$ 的变化发生周期性的变化; 从而可以测量出相应的温度微小变化量。精确复位是一种理想状况, 它要求复位误差限制在 $1\mu\text{m}$ 的数量级以内^[3]。当全息图的复位不是很精确时, 在干涉场中可以观察到干涉条纹。干涉条纹的形状和间隔直接跟复位情况有关, 一般情况下条纹形状属于二次曲线。图 3 是记录下来椭圆轨迹的干涉图。

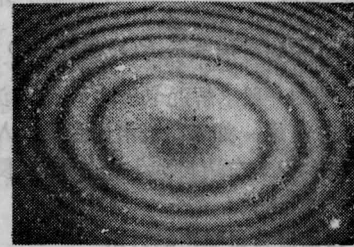


图 3 椭圆轨迹干涉图

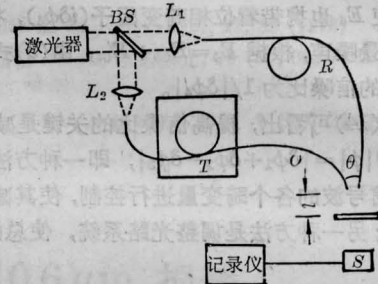


图 4 实验装置示意图

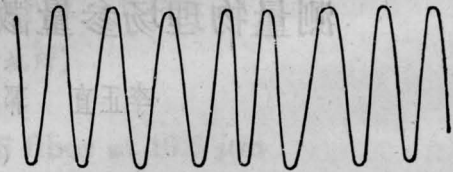


图 5 干涉条纹移动记录

3. 本方法的仪器装置如图 4 所示。采用 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光器。BS 为分束器, L_1 、 L_2 是显微物镜, 把分束后的激光耦合入两根光纤。采用上海硅酸盐研究所生产的 $0.6328\mu\text{m}$ 的单模光纤, 两根光纤均长 4m, 其中物方光纤中一段 400mm 长置于恒温槽 T 中。恒温槽温度控制精度为 0.1°C , 用天津 I 型全息干板作为全息图的记录介质。光电探测器 S 用以记录干涉条纹的移动。

将处理好的全息图放置原来位置后, 在全息图的后面用光电探测器探测干涉条纹的移动并进行记录, 图 5 是部分记录结果。我们在 $10\sim 50^\circ\text{C}$ 温度区间内每 10°C 之内均抽测多次, 测量结果表明, 在测量误差范围之内, $\Delta\phi$ 随 ΔT 变化具有线性关系。当温度场中光纤长 400mm, 温度变化 0.2°C 时, 将导致干涉条纹移动 9.8 条, 可折算成利用这种光纤时, 该方法测量灵敏度为 $122.5\text{lines}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}$ 。

参 考 文 献

- 1 G. B. Hoeker, *Appl. Opt.*, **18** (9), 1445

激光全息模拟胸环靶

谢建平 陈农 吴云霞

(中国科技大学物理系, 合肥)

Analogous chest silhouette targets generated by laser holography

Xie Jianping, Chen Nong, Wu Yunxia

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei)

Abstract: Analogue chest silhouette targets are proposed to be generated by zoned holographic off axis zone plate. Some experiments for proving its feasibility are also given.

1. 激光应用于射击训练一般是靠靶面上的光敏元件来检测击中与否。若要显示出射中靶面的具体环区,则需要由很多光电转换元件组成的列阵。采用这里所介绍的全息模拟靶可以克服上述缺点。对于六环区军用胸环靶的每一个环区只需一个光电元件接受,由数码管直接显示射中的环数。

用全息底板记录一束平面波和一束发散球面波的干涉条纹可制成离轴全息波带片。用平行光照射此波带片时,透射光中有平面波、发散和会聚球面波三个衍射光波,其中会聚球面波在后焦面上形成实像点。

将全息底板分为数个记录环区,不同的环区记录不同的全息图,即不同环区的全息图是由平面光波(参考光)和发散球面波(物光束)的不同光路配置而制成的。模拟枪弹射击的激光束射到不同的环区上,在后焦面的不同位置上形成的衍射实像点,由光电元件接受并显示出击中的环区。为了使安放在各实像点位置上的光电接受器免受0级平行光束和+1级发散光束的干扰,产生物光束的点光源应放置在与环靶同心的一个四分之一圆周上,圆周半径大于靶外环半径(图1(a))。这样各环区衍射的实像点则落在后焦平面上相同半径的圆弧上,而衍射后的平行光束口径小于实像点所在圆周的半径,发散光束则射到另外的大半圆周上(图1(b)),照射不到光电接受器上。

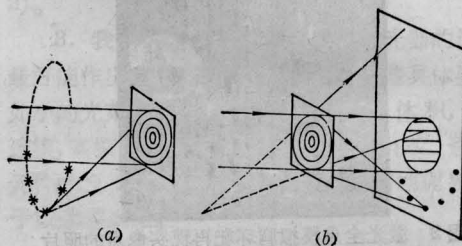


图 1

(a) 激光模拟靶的分区离轴全息波带片制作光路;
(b) 模拟靶的再现光路

2. 实验中按 60m 军用胸环靶实际尺寸缩小到 1/6,制作 10m 模拟胸环靶,靶外环口径为 100mm,采用图 1(a)的光路制作。在全息平台上将 5mW 的 He-Ne 激光束分成两束,一束经扩束器变成口径为 120mm 的平行光垂直入射到全息底板上,另一束经过 40x 物镜成发散光束,光束顶点距底板 230mm,距环靶轴线 200mm。紧贴全息底片的前面放置环区挡光板,各次曝光中换置不同透光环区的挡光板。显然按图 1(a)光路在不同位置放置显微物镜是麻烦的,我们采用下列方法记录分区波带片。记录中只放置一个显微物镜,一个环区的全息图记录后将全息底板转动约 10°,再记录另一个环区的全息图。

曝光中参考光束和物光束的振幅比约为 1:1,