

用于全息存贮的全息散斑相移透镜

傅子平 徐大雄

(北京邮电学院应用物理系)

提 要

本文利用全息透镜和激光散斑的特性,提出一种专门用于信息存贮的全息散斑相移透镜。并给出了这种平面型光学元件的制作过程及实验结果。

一、引 言

全息存贮主要有高存贮密度、高冗余度和高分辨率等优点。一般除了选用高质量的傅氏变换透镜外,还要克服频谱平面上光强分布的不均匀性造成傅氏变换全息图非线性记录的困难。使谱光强均化的方法有离焦和多光束法^[1,2],位相光栅调制法^[3]和随机相移器法^[4]。这些方法对于改善再现图像的质量都是行之有效的,但也使全息存贮光路较为复杂化。

利用激光散斑和全息透镜的特性,我们制作了一种专门用于全息存贮的全息散斑相移透镜。它能把傅氏变换和谱光强均化的两种功能合为一体,在全息存贮装置简化的同时,仍能做到存取图像放大率为一的高质量存贮。

二、原 理 简 述

常规的随机相移器法的全息存贮光路如图1所示。在傅氏变换透镜之后放入随机相移器和待存贮的图像,在傅氏频谱平面引入参考光,用全息干板记录准傅氏变换全息图。

若依照图2所示的光路记录一全息光学元件,那么这种元件在图3所示的光路中就能起到傅氏变换和随机相移器的双重作用,以构成取代图1表示的常规光路。我们把这种全息光学元件称之为全息散斑相移透镜。

理论上可以证明,全息散斑相移透镜仍具有焦距为 d 的傅氏变换透镜的功能(如图3所示),只是存贮图像的傅氏频谱要与散斑相移板的傅氏频谱进行卷积。在存贮图像的频谱确定之后,频谱平面上光强的分布由散斑相移板的频谱来决定。这对散斑相移板的要求是,在物平面上只能是一纯粹的相位调制元件而不影响存贮图像的分辨率;在谱平面上只能使光强均匀分布而又不降低存贮密度。

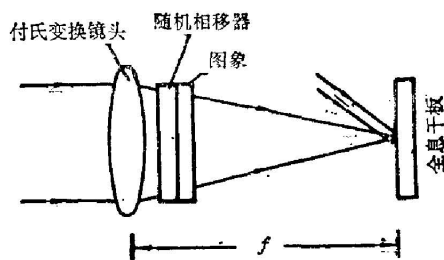


图1 采用一般随机相移器的全息存贮
Fig. 1 The conventional optical system using random phase-shift elements

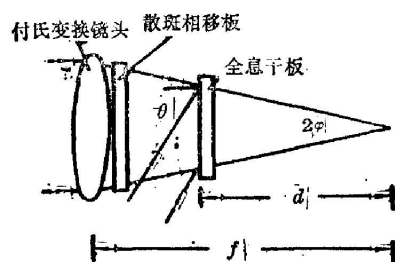


图2 全息散斑相移透镜的制作

Fig. 2 The optical configuration for recording of a speckle phaseshift holographic lens

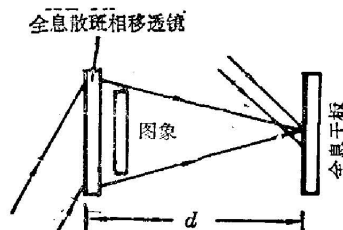


图3 用全息散斑相移透镜做全息存贮

Fig. 3 Information storage with speckle phase-shift holographic lens

利用激光散斑的特性可以制作散斑相移板,其记录光路如图4所示,记录方法有两种:

1. 非相关法^[4]: 距毛玻璃之后为 d 处放置全息干板,记录毛玻璃面内位移前后产生的两个非相关散斑场。根据散斑场强度相加的一级统计特性^[6],其强度的概率密度分布为

$$P(I) = 4(I/I_0)^2 \exp[-2I/I_0],$$

式中 $P(I)$ 是散斑强度值在 I 和 $I+dI$ 之间的概率, I_0 是平均强度。根据中心极限定理,散斑场的强度变化缓慢,可近似成高斯剖面。记录散斑的干板经显影和漂白处理后即为散斑相移板,在一级近似条件下其相位的随机分布与散斑强度的概率密度分布成正比。

2. 相关法^[5]: 设散斑强度的随机分布函数为 $A(x, y)$, 若将毛玻璃面内横向移动 Δx , 再面内纵面移动 Δy , 先后曝光三次,记录的光强为

$$I_s(x, y) = A(x, y) * [\delta(x, y) + \delta(x - \Delta x, y) + \delta(x - \Delta x, y - \Delta y)],$$

将记录干板显影、漂白后成为散斑相移板,其位相的变化正比于光强的分布。

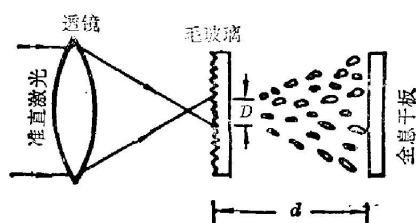


图4 散斑相移板的记录

Fig. 4 The optical configuration for recording a speckle phase-shift plate

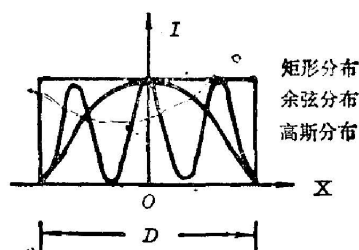


图5 散斑相移板傅氏谱光强的包络分布

Fig. 5 Fourier spectra intensity profile of speckle phase-shift plate

非相关法得到的散斑相移板谱光强的包络近似为高斯分布,相关法得到的包络沿 x, y 方向为余弦分布,如图5所示。

三、制作中的问题及实验结果

1. 散斑相移板的散斑大小与均化面积

散斑的大小可认为是相邻的亮度极大处和极小处之间距离的统计平均值。在全息散斑相移透镜的焦距 d 确定以后,谱平面上光斑线度 D 的大小直接与散斑的大小 σ 有关,它们

之间的关系可由瑞利准则决定

$$\sigma = 1.2\lambda d/D_0$$

在图 4 的光路中如果将毛玻璃沿轴向移动使照明光斑线度为 D , 那么在距毛玻璃后为 d 处就可以记录散斑相移板。经漂白处理的散斑相移板可视为一个 n 阶的随机相移器, 其元格的大小以 σ 表征。

2. 全息散斑相移透镜的数值孔径与参考角

如果选择制作全息散斑相移透镜的参考光束为平面光波, 设参考光与物光的夹角为 θ , 当给定透镜的数值孔径 $\sin \varphi$ 时, 角 θ 必须满足(如图 2 所示) $\theta - \varphi > 0$, 才能分离衍射级。所以要加大 $\sin \varphi$, 角 θ 也要随之加大。而离轴元件的像差正比于 $\sin \varphi$, 并要求全息透镜复位使用, 否则将加大像差。

3. 增大口径和缩短焦距

按图 2 的光路制作的全息散斑相移透镜, 其相对孔径受傅氏变换透镜相对孔径的约束, 限制了大口径、短焦距全息透镜的制作。选用不同倍率的显微物镜代替傅氏变换镜头能制出大口径、短焦距的全息透镜, 如图 6(a) 所示。将制成的大数值孔径全息透镜与散斑相移板叠置在一起就构成了双片式全息散斑相移透镜。这种透镜的特点是能存贮不同的信息置换不同元格的散斑相移板。

4. 实验结果

按照图 2 和图 6(b) 所示的光路, 分别制作了相对孔径为 1:5.6 和 1:1.2 两种全息散斑

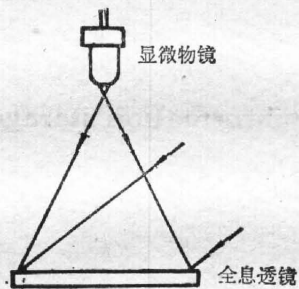


图 6(a) 大口径、短焦距全息透镜的制作;
Fig. 6(a) The optical configuration for recording holographic lens of large aperture and short focal length

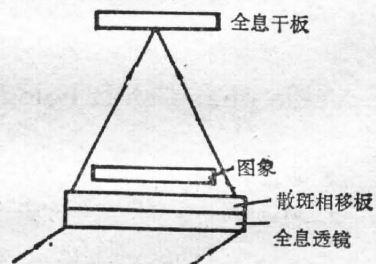


图 6(b) 用双片式全息散斑相移透镜做全息存贮
Fig. 6(b) The formation of a speckle phase shift holographic lens doublet

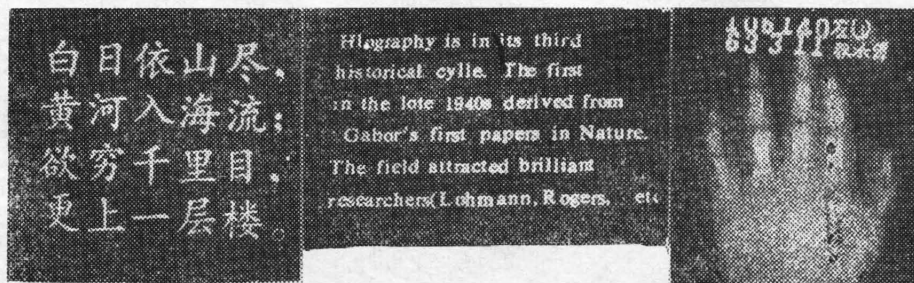


图 7 用全息散斑相移透镜做全息存贮的实验结果
Fig. 7 Experimental results of reconstructed images

相移透镜, 并做全息存贮实验。图 7 是存贮图像再现像的照片。不难看出, 文字存贮的结果比较令人满意, 而图像存贮的结果载有环形噪声。该噪声来自全息透镜, 全息透镜上的噪声又起因于记录时光路中的附加环形干涉条纹没有消除; 噪声的抑制依赖于处理时全息透镜转为相位型的程度。若用纯相位记录介质, 噪声可以全抑制掉。

四、结 束 语

本文讨论了全息散斑相移透镜的制作及其构成的全息存贮系统, 并给出了实验结果。这种平面型透镜与常规的光学透镜相比, 具有重量轻、制作方便和成本低廉等优点。但由于单片全息透镜的像差很大, 存入与取出图像的放大率只能为一。若用重铬酸明胶作为记录介质, 将会进一步提高衍射效率和信噪比, 有可能取代常规透镜而用于全息存贮。

参 考 文 献

- [1] H. J. Gerriten *et al.*; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, No. 11, 2301.
- [2] K. Chalasinska-Macukow *et al.*; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 6, 1436.
- [3] C. E. Burckhardt; *Appl. Opt.*, 1970, **9**, No. 3, 695.
- [4] 徐敏等;《应用激光联刊》, 1983, **3**, No. 3, 1.
- [5] 徐大雄等;《光学学报》, 1984, **4**, No. 2 (Apr), 139.
- [6] J. C. 丹蒂;《激光斑纹及有关现象》, (科学出版社, 1981), 211.

Speckle phase-shift holographic lens for information storage

FU ZIPING AND HSU DAHSIUNG

(Beijing Institutet of Posts & Telecommunications)

(Received 6 July 1984; Revised 10 September 1984)

Abstract

A novel holographic optical element (HOE)-speckle phase-shift holographic lens for information storage has been proposed. It combines the Fourier transforming property with the property of the spatial spectrum intensity equalizing, thus simplifies the optical configuration for holographic storage. The fabrication processes of the planar HOE and the experimental results of a high quality information storage are given in the paper.