

# 应用电子散斑测量位相物体的折射率

周 杰, 徐满平

(嘉应学院物理与光信息科技学院, 广东 梅州 514015)

**摘 要:**根据电子散斑测量位移的基本原理,提出了一种测量位相物体折射率的方法。并进行了实验,通过对实验精度的分析,表明实验方法可行、结果可靠。

**关键词:**散斑;数字化;面内位移;位相物体;折射率

**中图分类号:**TB853.22      **文献标识码:**A

## Application of electronic speckle measurement of the refractive index of phase objects

ZHOU Jie, XU Man-ping

(School of Physics and Optical Information Sciences, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

**Abstract:** Advanced a way which measuring the refractive index of transparent objects on ESPI. By experiment, get the experimental method that is feasible and reliable results.

**Key words:** speckle; digitization; in-plane displace; phase; refractive index

### 1 引 言

电子散斑干涉术(ESPI)是发展最早的计算机辅助光学测量方法。它具有传统光学计量技术所拥有的实时、全场、非接触、灵敏度高等优点。随着电子技术、计算机技术的飞速发展,许多方便、实用的电子散斑干涉仪已在表面粗糙物体的形变、位移、振动等的测量方面得到广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。本文根据散斑干涉测量的基本原理,提出一种测量位相(透明)物体折射率的方法。

### 2 基本原理

如图1所示激光束经扩束准直后,通过半漫透射片照射适当倾斜的待测透明物体,用CCD接收散斑图。由于在透明介质分界面上发生两次折射,光束经过透明介质后将平移一个量 $d$ ,如图2所示,这将使每一个散斑点从原来没有透明介质时的位置也产生了 $d$ 的位移<sup>[3]</sup>。

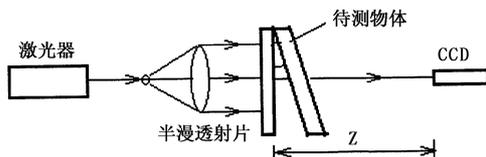


图1 数字散斑测量透明物体折射率

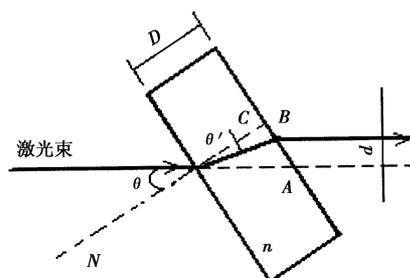


图2 光束透过透明介质发生两次折射

由图2有:

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \overline{AC} - \overline{BC} \\ &= D(\tan\theta - \tan\theta') \\ d &= \overline{AB}\cos\theta \\ &= D(\tan\theta - \tan\theta')\cos\theta \end{aligned} \tag{1}$$

应用折射定律有:

$$n_0\sin\theta = n\sin\theta', n_0 = 1 \tag{2}$$

故由式(1)和式(2)可得:

基金项目:梅州市自然科学基金项目(No.07KJ35)资助。

作者简介:周 杰(1964-),男,副教授,现在嘉应学院从事信息光学教学及研究工作。E-mail:zhou6410@163.com

收稿日期:2009-09-10;修订日期:2009-10-15

$$D = \frac{d}{\sin\theta - \frac{\sin\theta\cos\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}} \quad (3)$$

$$n = \sqrt{\left(\frac{\sin\theta\cos\theta}{\sin\theta - d/D}\right)^2 + \sin^2\theta} \quad (4)$$

由式(4)可以看到,如果已知激光束入射到透明介质界面上的入射角  $\theta$ ,透明介质的厚度  $D$  以及光束通过透明介质后的位移  $d$ ,便可以算出透明介质的折射率  $n$ 。

实际测量时,先记录一张未放待测物体时的散斑图,然后再将待测物体放光路中并记录下散斑图,经过 MATLAB 图像处理得到干涉图样,按式(5)<sup>[4]</sup>确定散斑点的位移  $d$ :

$$d = z_0\lambda / (M\Delta x) = z_0\lambda / \Delta X \quad (5)$$

式中,  $\Delta x$  是条纹间距;  $M$  为 CCD 成像放大比例。

### 3 实验及数据分析处理

按图 1 所示排好实验光路图,保证毛玻璃是垂直安放并与光路垂直,将准直后的激光照射毛玻璃,用 CCD 接收透射散斑。测出 CCD 放大比例为  $M = 10/66.653$ 。

记录一张未放待测物体时的散斑图(如图 3 所示),然后在光路中插入待测物体,调节玻璃支架使

其倾斜  $13^\circ$ ,记录一张放入待测物体后的散斑图(如图 4 所示)。在 MATLAB 中将所得两张散斑图相减后进行傅里叶变换,低通滤波和带通滤波得到干涉条纹。再将条纹直方均匀化,二值化和骨架化(如图 5 所示),测量细化后的条纹间距,并计算相应的透明玻璃折射率  $n$ ,如表 1 所示。

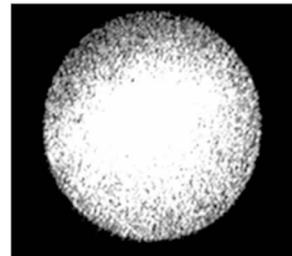


图 3 加玻璃前的散斑图

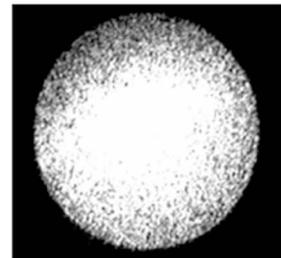


图 4 加玻璃后的散斑图

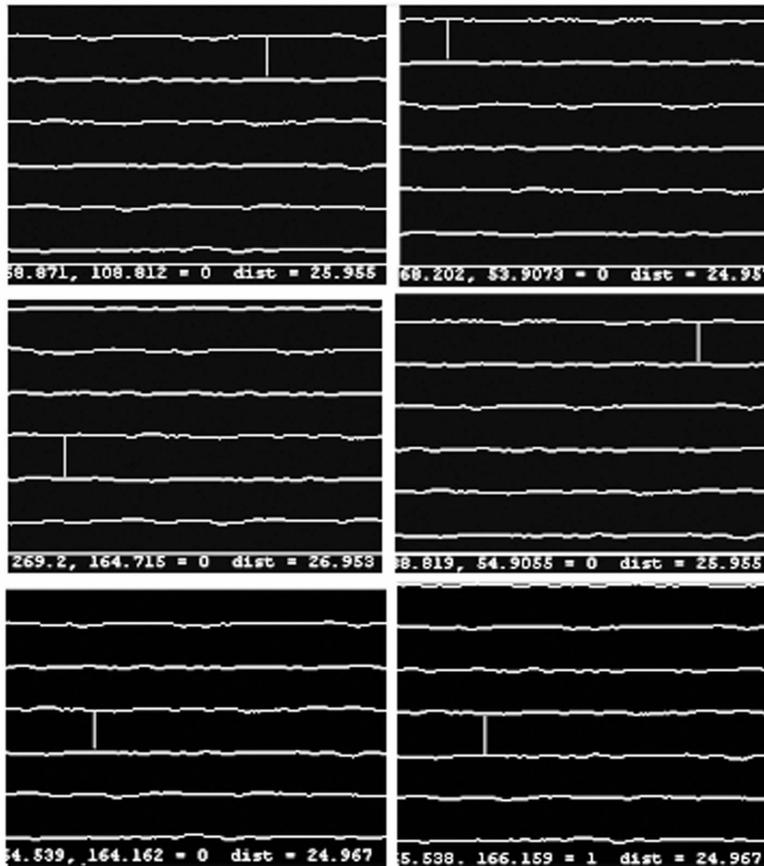


图 5 经过理后的干涉条纹

表1 实验数据

测量次数	条纹间距 $\Delta X (\times 10^{-3} \text{ m})$	散斑点的位移 $d = \partial z_0 / M \Delta x$ $= \lambda z_0 / \Delta X$ ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	计算所得透明玻璃折射率 $n$	绝对误差 $\Delta \xi$
1	3.894	0.0983	1.366	0.006
2	3.747	0.1021	1.386	-0.014
3	4.043	0.0946	1.347	0.025
4	3.894	0.0983	1.356	0.016
5	3.742	0.1023	1.386	-0.014
6	3.742	0.1023	1.386	-0.014

由图5中数据可以计算出条纹间距的平均值为:

$$\Delta X = [(25.955 + 24.975 + 26.953 + 25.955 + 24.967 + 24.967) / 6.6653 / 6] = 3.845 \text{ mm}$$

已知激光波长  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ , CCD 放大率  $M = 10 / 6.6653$ , 散射物与 CCD 间的距离  $z_0 = 0.605 \text{ m}$ , 则散斑点的位移为:

$$d = z_0 \lambda / (M \Delta x) = z_0 \lambda / \Delta X$$

$$= \frac{0.6328 \times 10^{-6} \times 0.605}{3.845 \times 10^{-3}} = 0.0995 \text{ mm}$$

计算所得的移动距离为  $0.0995 \text{ mm}$ , 而数字激光散斑测量范围<sup>[5]</sup>为  $0.03 \sim 0.10 \text{ mm}$ , 故测量的数据有效。

用游标卡尺测量出透明玻璃的厚度:

$$\overline{D} = 1.58 \text{ mm}$$

根据式(4)可以计算透明玻璃的折射率:

$$n = \sqrt{\left(\frac{\sin 13^\circ \cos 13^\circ}{\sin 13^\circ - d/D}\right)^2 + \sin^2 13^\circ}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.2249 \times 0.9743}{0.2249 - 0.0995/1.580}\right)^2 + 0.2249^2}$$

$$= 1.372$$

由表1可以计算得方差  $S = 0.0387$ , 精度 =

$$\frac{\text{方差}}{\text{平均值}} = \frac{0.0387}{1.372} = 0.0282$$

#### 4 结论

通过计算所得精度为  $0.0282$ , 小于  $0.05$ , 表明此测量方法的测量精度较高, 同时测量所得的透明玻璃的折射率  $n = 1.372$ , 接近其实验值 ( $n = 1.38$ ), 测量结果精确可信。

传统的折射率测量方法大都是利用光的干涉、反射或折射原理设计的, 因而都要涉及入射角、反射角及折射角的测量。操作比较繁琐, 且精度不高。而此实验方法只需测量待测物体厚度  $D$ 、物体的倾角  $\theta$ , 用计算机进行条纹判读和间距测量。使得操作变得简单易行, 精度较高。

从公式(4)可知, 折射率  $n$  不仅与  $d$  有关还与  $D$  及  $\theta$  角有关。而其中  $\theta$  角是最关键参数, 实验表明选取合适的  $\theta$  角, 可以提高  $d$  的测量精度<sup>[6]</sup>。另外, 测量系统的稳定性也会影响测量的精度, 本测量系统应放在一张稳定性较好的光学平台上进行; 准直光斑的均匀性对测量精度也有影响, 准直透镜尽量截取扩束光斑的中央区域。

#### 参考文献:

- [1] 曾毅. 激光散斑测量应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005:1.
- [2] 李林森. 激光散斑计量技术及其应用研究[D]. 西安: 西北大学, 2007:3.
- [3] 赵延鹏, 杨军, 赵磊, 等. 用激光散斑法测量位相物体厚度[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(4):449.
- [4] 王仕璠. 信息光学理论与应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005:285-291.
- [5] 王仕璠. 现代光学实验教程[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004:91-93.
- [6] 陈书汉. 应用激光数字散斑测量物体面内位移的研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(2):145-146.