

# 透明介质的厚度与折射率的测量

赵德信 宋 伟

(燕山大学, 秦皇岛, 066004)

**提要:** 用激光散斑照相的方法测量了因光在透明介质中折射而引起的散斑位移, 并求出介质的厚度与折射率。测量范围较大, 最小厚度为微米。

**关键词:** 激光散斑照相

## Measurement of thickness and index of refraction of transparent medium

*Zhao Dexin, Song Wei*

(Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

**Abstract:** By means of laser speckle photography, the speckle displacement caused by refraction in transparent medium is measured. The thickness and the index of refraction is then calculated. The measured range is wide and the thickness precision is up to the level of micrometer.

**Key words:** laser speckle photography

### 一、引 言

测量透明介质的方法, 常用机械法和光的干涉法, 前者测量精度不高, 且要破坏薄膜; 后者只能在厚度是入射光波长数量级时才能得到较好的效果, 限制了测量范围。而且, 在一般情况下, 介质的折射率也是未知的。本文用激光散斑照相方法既克服了上述两种方法的缺点, 又可同时求出折射率和厚度及其不均匀度。

### 二、原理

按图1光路, 在被测介质放入光路前后, 进行两次曝光, 经处理后, 在感光底片上便得到散斑图。由于光的折射, 使被测介质放入光路前后散斑发生了位移, 此位移可由逐点分析法<sup>[1]</sup>求出。

图1中的深孔光阑(3)的作用, 只允许与光轴平行或接近平行的光通过, 把由散射面(毛玻璃)散射出其它方向的光挡住, 从而提高了干涉条纹的清晰度和测量的精度。由图2中的几何

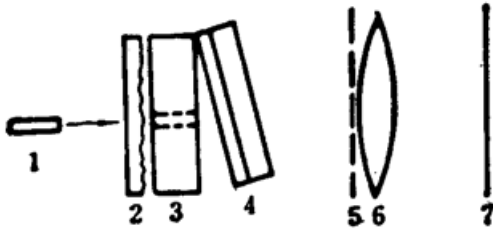


Fig. 1 Experimental installation

1—He-Ne laser; 2—frosted glass; 3—deep-hole stop; 4—transparent medium; 5—double annular aperture; 6—imaging lens; 7—holographic plate

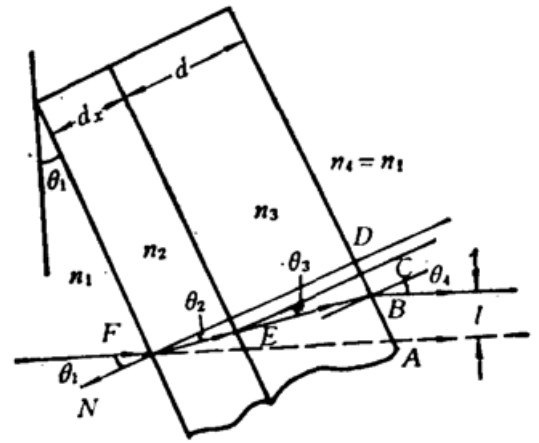


Fig. 2 Refraction of light in medium

关系及折射定律和逐点分析公式, 并取  $n_1=1$  (空气),  $n_2=n_x$ , 得

$$d_x = (l - c) / \sin \theta_1 (1 - \cos \theta_1 / \sqrt{n_x^2 - \sin^2 \theta_1}) \quad (1)$$

式中

$$c = d \sin \theta_1 (1 - \cos \theta_1 / \sqrt{n_3^2 - \sin^2 \theta_1}) \quad (2)$$

$$l = \lambda L / M \Delta t \quad (3)$$

(3) 式中,  $\lambda$  为入射光波长,  $L$  为散斑图与条纹图间距,  $M$  为图 1 光路放大倍数,  $\Delta t$  为干涉条纹间距。当介质取  $\theta_1$  和  $\theta'_1$  位置时, 得到两组数:  $l_1, c_1; l'_1, c'_1$ , 分别代入 (1) 式中, 经化简, 得到含有  $n_x$  的一元三次方程:

$$2(K_1 - K_2)n_x^3 - 2(K_1 \cos \theta'_1 - K_2 \cos \theta_1)n_x^2 - K_1 \cos \theta'_1 \sin^2 \theta'_1 + K_2 \cos \theta_1 \sin^2 \theta_1 = 0 \quad (4)$$

化简过程中, 用到了级数展开式的近似表示

$$[1 - (\sin \theta_1 / n_x)^2]^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}(\sin \theta_1 / n_x)^2$$

$$[1 - (\sin \theta'_1 / n_x)^2]^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}(\sin \theta'_1 / n_x)^2$$

(4) 式中

$$K_1 = (l_1 - c_1) \sin \theta'_1 \quad (5)$$

$$K_2 = (l'_1 - c'_1) \sin \theta_1 \quad (6)$$

所以, 介质只需取二个位置  $\theta_1, \theta'_1$ , 再进行测量与计算, 便求出  $n_x$  和  $d_x$ 。若把深孔光阑做成多孔深孔光阑, 小孔之间等距, 则同时可求出介质上不同部位的厚度和折射率, 从而得出厚度和折射率的不均匀程度。

### 三、举例与精度估算

按图 1 光路进行测量。被测介质是定影处理后(定影前未曝光)的玻璃干板上的药膜。已知药膜的基片(玻璃)厚度  $d = 1.500$  mm, 折射率  $n_3 = 1.510$ , 介质位置分别取  $10^\circ$  和  $15^\circ$ 。经散斑照相测出干涉条纹间距  $\Delta t_1 = 2.15$  mm,  $\Delta t_2 = 1.38$  mm(图 3 是介质取  $10^\circ$  位置时得到

的干涉条纹图)。再由公式 (3) 求得  $l_1=0.088 \text{ mm}$ ,  $l_2=0.137 \text{ mm}$ , 代入有关公式求得  $d_g=0.008 \text{ mm}$ ,  $n_g=1.521$ 。

影响精度的主要因素是对  $\theta_1$  和  $\Delta t$  的测量误差。 $\theta_1$  可用分光镜测量误差很小, 所以, 对精度的影响起决定作用的是对  $\Delta t$  的测量, 而用激光散斑照相法, 通过测出的  $\Delta t$  再用公式 (3) 计算得到的面内位移 ( $l$ ) 可精确到微米。所以, 对透明介质厚度的测量精度为微米级。

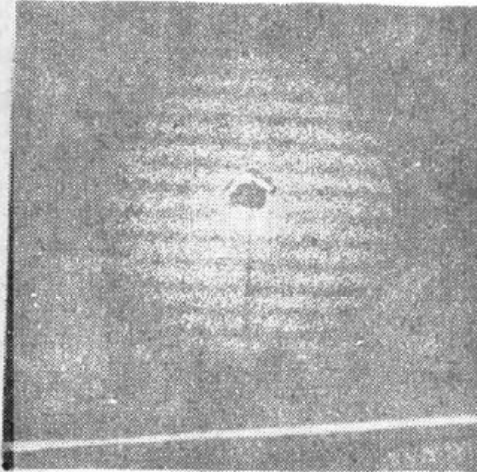


Fig. 3 Young's fringes obtained by pointwise analysis for speckle patterns

### 参 考 文 献

- 1 赵清澄, 石源, 实验应力分析, 科学出版社, 1987, 238
- 2 赵德信, 罗庆昌, 中国激光, 11(3), 176 (1984)