

用光栅作为分束器的激光光栅干涉仪

洪宝晋 何永蓉 叶蓉华

(南京大学物理系, 南京 210008)

提要 本光栅干涉仪用光栅作为分束器,使双光束发生干涉。特点是既可用来观察位相物体,也可把干涉条纹调制在位相连续变化的物体上进行测量。

关键词 分束器,光栅,位相物体

Laser grating interferometer using grating as beam splitter

Hong Baojin, He Yongrong, Ye Ronghua

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract This grating interferometer uses grating as beam splitter, and behind the grating two beams interfere with each other. It can be used to observe phase objects, and the interference fringes can be modulated on the continuously changed phase objects for measurement.

Key words beam splitter, grating, phase objects

1 引言

目前的光栅干涉仪^[1]有两种,一种是利用光栅的自成像(即 TALBOT)效应,把像成在另一个相同的光栅上,用得到的 MOIRE 条纹来研究位相物体;另一种是 RONCHI 光栅干涉仪,用通过光栅后不同衍射级光束相干得到干涉条纹的形状来研究透镜的像差。

光栅作为分束器^[1]用在干涉仪中,与通常半镀银的玻璃分束器比较,优点是比较稳定,角度稍有偏差仍可正常工作。如应用反射光栅,更有可能将测试波长延伸到紫外区域。

本光栅干涉仪前面部分相似于瑞利干涉仪,不同的是在二相干光会合处放一 RONCHI 光栅作为分束器,利用衍射光束的干涉来观察或测量位相物体。将光栅沿着其放置平面移动,可以改变二相干光束之间的相对位相,得到反衬度连续可变的图像。将光栅沿着光学系统的光轴方向移动时可把干涉条纹调制在位相物体上以便测量。

2 原理与实验

光路如图 1 所示。用一束平行激光照在输入平面上，在离光轴 $\pm b$ 处开二小孔 A、B，光线 1 与光线 2 由开孔射出后经过透镜 L_2 会聚在后焦面的光栅上。光栅后得到光线 1 与光线 2 的零级和 ± 1 级衍射光。我们令 $b = f(\lambda/d)$ (f 为透镜焦距， λ 为光波波长， d 为光栅周期)。以使光线 1 的 $+1$ 级与光线 2 的 -1 级在输出面 O 处重合。移动光栅可以改变二束光之间的位相差^[2]，故在 O 处可以得到连续的强度变化。若在输入平面开孔 A 处放一位相物体，此时这二束光的光程差为

$$\Delta = (n' - n)D \quad (1)$$

式中 n' 为位相物体的折射率， n 为空气的折射率， D 为位相物体的厚度。

在输出面上可看到位相物体的图像，移动光栅在 O 处可见此图像反衬度连续变化。这方面的推导在[2]中已有详细描述。

在 A 处放一加热的电烙铁，其周围空气因受热造成各处折射率不同，移动光栅可得到正负二种相衬的照片，如图 2 所示。从中可看出加热的电烙铁周围空气密度分布情况。因热空气上升，所以上面部分较宽。照片上光强强度相同处也就是位相相同和折射率相同之处。但有些地方条纹相当宽，虽可从该范围的光强来确定光程差从而求出折射率，但仅在这一段范围内，而不是确定的一点。

将光栅沿着光轴方向移动，光路如图 3 所示。由于光栅离开焦平面距离 Δf ，光线 1 与光线 2 在光栅上形成分开的二个光斑，此二光斑在经过光栅后又分成零级与 ± 1 级共 6 条光束，其中光线 1 的 $+1$ 级光束与光线 2 的 -1 级光束是互相重合的，故在输出面上产生平行的干涉条

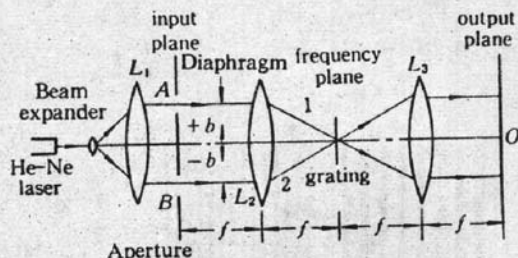


Fig. 1 Experimental set-up

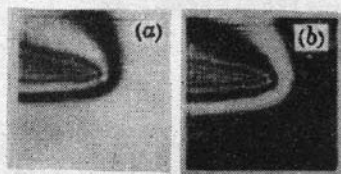


Fig. 2 A negative contrast photograph and a positive contrast photograph of the air around a hot soldering iron

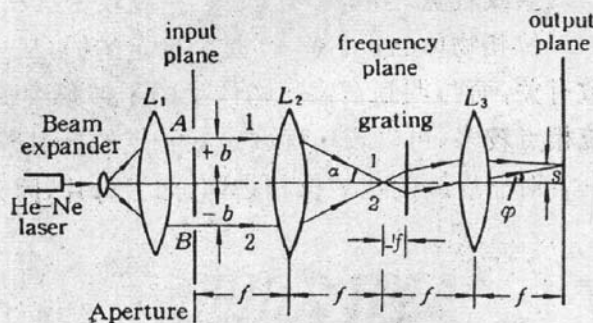


Fig. 3 When the grating was moved by a distance from the frequency plane, the interference is produced on the output plane

纹。条纹间距可用类似于杨氏双缝的方法推算出来。光栅离开焦平面越远，二光斑分开距离越大，则条纹间距越小。

此时，光线 1 与光线 2 的光程差为

$$\Delta = c \sin \varphi \quad (2)$$

c 为光栅上二光斑之间的距离。 $c = 2\Delta f \tan \alpha$, Δf 是光栅离开焦平面的距离, α 是 ± 1 级光的衍射角, $\tan \alpha = b/f$, $\sin \varphi \cong s/f$ 。

设 s 为屏上亮条纹离开输出面中心的位置, 则 $c \sin \varphi = c(s/f) = k\lambda$

$$s = f \frac{k\lambda}{c} \quad (3)$$

条纹间距

$$\Delta L = f \frac{\lambda}{c} \quad (4)$$



Fig. 4 Different fringes for different Δf

图 4 照片是不同的 Δf 对应于不同的条纹间距, 与结果相符。

在 A 处放入位相物体后, 因为程差的变化, (如加热线烙铁周围的空气), 条纹发生移动。如原来位于 s 处的 k 级亮条纹移动到了 s' 处, 此时光线 1、2 的光程差成为

$$\Delta = (n' - n)D + c \sin \varphi' = k\lambda \quad (5)$$

其中 $\sin \varphi' \cong s'/f$

从(5)式可求得

$$s' = [k\lambda - (n' - n)D](f/c) \quad (6)$$

这样, k 级条纹移过的距离为

$$\Delta s = s' - s = - (n' - n)D(f/c)$$

条纹移过的数目为

$$\frac{\Delta s}{\Delta L} = - \frac{n' - n}{\lambda} D \quad (7)$$

已知 λ, n, D , 只要数出移动的条纹数即可求出 n' 。一般肉眼能估计出条纹移动的 $1/10$, 如应用带有标尺的读数显微镜, 则可估计到 $1/50$ 的条纹移动^[3], 故测量精度约为 15 nm 。

图 5 是干涉条纹调制在位相物体(加热线烙铁周围的空气)上的二张照片。图 5(a) Δf 较小, 所以条纹较宽。图 5(b) Δf 较大, 条纹较密。

位相物体的折射率 n' 是个确定的值, 从式(7)中可知, 当 n, D, λ 为定值时只和移动的条纹数有关, 而与调制在位相物体上的干涉条纹疏密无关, 当然干涉条纹较密为好, 这样求出的等位相点较多, 可以较精确确定某一点的折射率。

对非连续变化的位相物体, 如云母片, 因无法确定移动了多少条纹, 故只能作定性的观察。

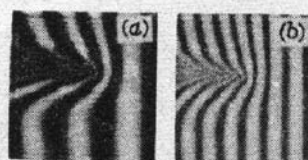


Fig. 5 Interference fringes are modulated on the phase objects

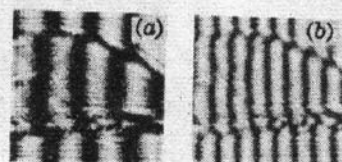


Fig. 6 Only when the phase object has a step in it (for example mica slice), we can observe it

实验中所用的透镜焦距 $f = 80 \text{ cm}$, 透镜直径 15 cm , 光栅常数 $d = 25 \mu\text{m}$, 故 $b = f(\lambda/d) =$

2. 25 cm。本实验中观察的为 16 mm×16 mm 大小的位相物体。

本干涉仪的优点是可用来观察位相物体,也可把干涉条纹调制在位相连续变化的物体上进行测量。由于采用光栅作为分束器,所以比较稳定。干涉条纹可调节。避免了类似杨氏双缝中因双缝距离太大造成条纹太细,不易观察的麻烦。光栅常数 d 越小,可测的物体也就越大。测 2~3 cm 的物体不是很困难,且可把透镜 L_1 与 L_2 充分地靠近以缩短光路,增加稳定性。

本装置的主要缺点是由于用激光作为光源,在输出图像上不可避免地有相干噪音。

参 考 文 献

- 1 P. Hariharan, *Optical Interferometry*, Academic Press, Australia 138(1985)
- 2 洪宝晋, 叶蓉华 *et al.*, *应用光学*, 56(1), 11(1990)
- 3 Jenkins and White *fundamentals of Optics*, Mc Graw-Hill Inc, 279(1976)