

利用非相干光成象方法制备低频全息光栅的技术和装置

栾胜奎 余 忠 汪瑞平

(武汉测绘科技大学)

摘 要

本文提出的利用非相干光成象方法制备低频全息光栅的技术,是利用原始光栅在非相干光成象系统中产生的正、负一级衍射光波在象平面的叠加来实现光栅的记录,有效地抑制了相干噪音,降低了对环境条件的要求,并具有操作简便、装置简单和价格低廉等优点。这种方法适于制作频率范围为每毫米数十至数百条线的光栅。用这种方法制作的光栅已在一些领域中得到了较为满意的应用。

迄今为止,全息光栅都是在光学实验平台上用激光记录的。这种方法具有一定的缺点。本文提出一种利用非相干光成象方法制备低频全息光栅的技术和装置,适于记录频率范围在每毫米数十至数百条线的全息光栅。与前述方法相比,其优点一是由于使用了非相干光,因而消除了相干噪音;二是由于毋须使用价格昂贵的激光器和光学平台,且省略了前述方法所需的大部分元件,因而装置简单,价格低廉;三是利用小口径的元件可以制作大面积的光栅。利用这种方法制备的全息光栅,已在物理光学、光信息处理实验中得到了满意的应用,并且可望开拓更广阔的应用领域。

由傅里叶分析可知,对于任何形式(振幅的、位相的或振幅-位相混合的;矩形的、正弦形的或其它任何槽形的)的光栅,当选定合适的坐标系时,其复振幅透过率可表示为

$$t_-(x_0, y_0) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos 2\pi(nu_0)x_0, \quad (1)$$

其中 u_0 为该光栅的空间频率。将该光栅置于图 1 所示光学系统的 P 平面,用一面积很小的单色光源 S 照明,该光栅出射面的复振幅分布为

$$t_+(x_0, y_0) = a \exp i\phi(x_0, y_0) \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos 2\pi(nu_0)x_0, \quad (2)$$

其中 a 和 ϕ 分别为 S 在光栅平面上造成的振幅

物理

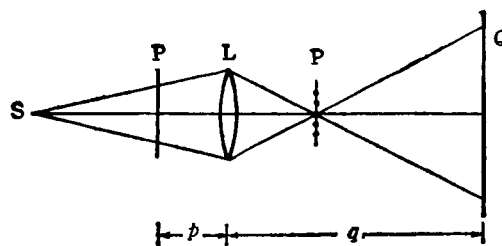


图 1

和位相分布。经过透镜 L 后,在 Q 平面得到 $t_i(x_0, y_0)$ 的象,其复振幅分布为

$$t_i(x_i, y_i) = a \exp i\phi(x_i, y_i) \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos 2\pi(nu_0) \times \frac{x_i}{M}, \quad (3)$$

其中 $\exp i\phi(x_i, y_i)$ 是成象过程中引入的位相因子^[1]与(2)式中位相因子 $\exp i\phi(x_0, y_0)$ 的象分布 $\exp i\phi\left(\frac{x_i}{M}, \frac{y_i}{M}\right)$ 的乘积, M 为垂轴放大率,

且 $M = q/p_0$ 。该象分布也可写成

$$\begin{aligned} t_i(x_i, y_i) = & C_0 \exp i\phi(x_i, y_i) \\ & + C_1 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp i2\pi u_0 \frac{x_i}{M} \\ & + C_1 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp -i2\pi u_0 \frac{x_i}{M} \\ & + C_2 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp i2\pi(2u_0) \frac{x_i}{M} \\ & + C_2 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp -i2\pi(2u_0) \frac{x_i}{M} \\ & + \dots, \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $C_n = aA_n$ 。容易知道, 上式各项分别是由 S 的共轭象面——R 平面上呈现的光栅各衍射谱级造成的。当只让 ± 1 级通过时, 在 Q 平面上得到的复振幅分布为

$$t_i(x_i, y_i) = C_1 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp i2\pi u_0 \frac{x_i}{M} + C_1 \exp i\phi(x_i, y_i) \exp -i2\pi u_0 \frac{x_i}{M}, \quad (5)$$

其强度分布为

$$I(x_i, y_i) = A \left(1 + \cos 2\pi \frac{2u_0}{M} x_i \right), \quad (6)$$

其中 $A = 2C_1^2$ 。此时, 如果将全息底片置于 Q 平面, 即可记录上述强度分布, 显影后得到一个频率为 $(2u_0/M)$ 的全息光栅。改变 M (即改变原始光栅相对透镜的距离 p), 可以使所记录的光栅的频率相应地改变, 以适于不同的需要。

值得注意的是, 在前面的讨论中, 虽然假定 S 是单色光源, 但讨论结果即(6)式表示的强度分布与波长无关, 因而当 S 是白光光源时, 各种波长的强度分布都用(6)式表示, 由此实现了用非相干光记录全息光栅的设想。

我们利用上述原理进行了制备全息光栅的实验, 其装置如图 2 所示。为了使原始光栅的利用面积最大, 在光路中使用了准直透镜 L_D , 其作用是将 S 发出的光波准直。S 是功率为 200W 的卤钨灯泡, 在其前置一小孔光阑限制发光面积。 L_D 的相对孔径为 1:1.8, 焦距为 180 mm; L 的相对孔径为 1:5, 焦距为 500mm。实

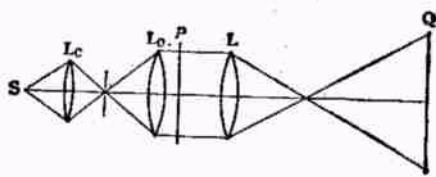


图 2

验中使用的原始光栅是频率分别为 25/mm, 50/mm 和 100/mm 的三种矩形光栅, 制作了频率范围为每毫米数十条线至数百条线的多种全息光栅。以上所有元件置于同一导轨上, 调整灵活方便, 并可消除振动的影响。该装置建成后, 为物理光学、傅里叶光学、光信息处理

实验及科学研究提供了具有较高质量的全息光栅。从检验结果和使用情况看, 与在光学实验平台上用激光记录的全息光栅相比, 其优点是显著的。图 3 示出了分别用以上两种方法制备的全息光栅的局部放大照片, 从中可以比较两者质量的优劣。

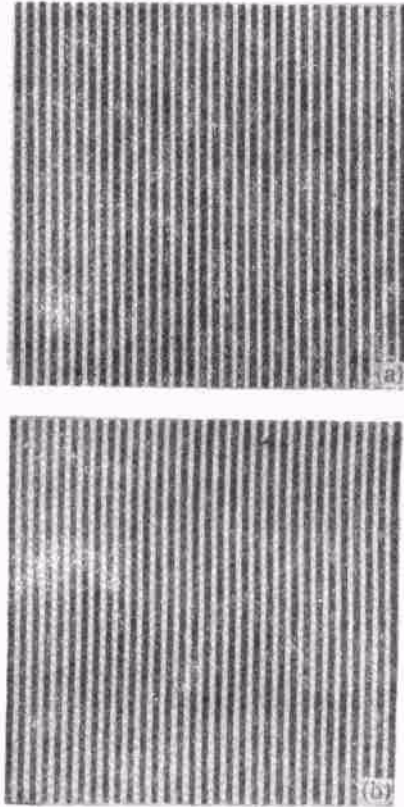


图 3

(a) 非相干光记录; (b) 常规方式记录

在以上讨论中, 对光源 S 的大小未作过多的限制。其实, S 可以大到这样的程度, 只要原始光栅的各衍射谱级彼此不相重叠。但在实际工作中应同时兼顾光能利用和景深的要求, 以选择合适的光源大小。

本方法适于制备频率范围从每毫米几十条线到几百条线的低频全息光栅。在很多领域, 尤其是在光信息处理技术中, 它作为编码或滤波元件具有重要的应用。该实验装置一旦制成仪器, 可望创造出一定的经济效益和社会效益。

[1] J. W. 顾德门著, 詹达三、董经武、顾本源译, 傅里叶光学导论, 科学出版社 (1976), 102.