

二维声光点阵偏转的高速干涉摄影研究

贺安之 阎大鹏 倪晓武

(华东工学院应用物理系, 南京 210014)

提 要

本文介绍了一种利用二维声光点阵偏转技术进行高速干涉摄影的原理和方法。通过二维声光点阵偏转器件,把带有干涉图的光斑($\phi 6\text{mm}\sim\phi 8\text{mm}$)按时间顺序偏转为 10×10 的光斑点阵,并记录在一张底片上。用连续激光为光源,曝光时间为 $10^{-5}\sim 3\times 10^{-6}$ 秒可调,幅频达 10^5 幅/秒,并用这种方法来记录瞬态温度场的干涉图,进行原理实验研究。

关键词: 声光偏转术, 高速干涉摄影。

一、引 言

声光点阵偏转技术已被应用于信息存贮和光通信中,特别是在全息干涉术中,用于偏转参考光束来得到多幅干涉图^[1],但在这些声光偏转技术的应用中,光束本身并不携带图像信息。为了解决瞬态高速多幅干涉记录问题,克服利用高速摄影机价格昂贵,技术复杂,不便推广使用的难题。本文研究了一种利用二维声光点阵偏转的技术进行二维按时间顺序记录干涉图的方法。在这种方法中,把带有干涉图的光束缩成 $\phi 6\text{mm}\sim\phi 8\text{mm}$,让其通过X-Y二维声光点阵偏转器件,在一张固定的底片上,按时间顺序记录 10×10 的一百幅干涉图。若用连续激光作为产生干涉图的光源,通过控制声光偏转器件的驱动电源,使每幅曝光时间在 $10^{-5}\sim 3\times 10^{-6}$ 秒之间可调,幅频为 10^5 幅/秒;若与序列脉冲光源配合,通过控制同步延时器,每幅曝光时间可达 10^{-9} 秒。这样形成的高速干涉摄影装置,其优点在于曝光时,底片不动、不曝光时,光束迅速偏转,克服了高速摄影中机械转动等复杂问题,且价格低廉。这是一种适用于瞬态干涉图记录的新方法,本文利用这种方法,做成了原理实验装置,并对瞬态温度场的干涉图进行原理实验研究,结果表明,这种方法是可行的,并且有一定的潜力和应用前景。

二、二维声光偏转原理

当超声波在介质中形成驻波或行波时,相应的介质折射率呈正弦变化,形成一相位光栅,若光线以一定的角度入射,则产生布喇格衍射。

由图1的声光偏转原理图和矢量图可知,如果光束以布喇格角射入声光晶体,则满足布喇格条件^[2]:

$$\theta_i = \theta_d = \theta_B = \frac{\lambda}{2\lambda_s} = \frac{\lambda}{2V_s} f_s \quad (1)$$

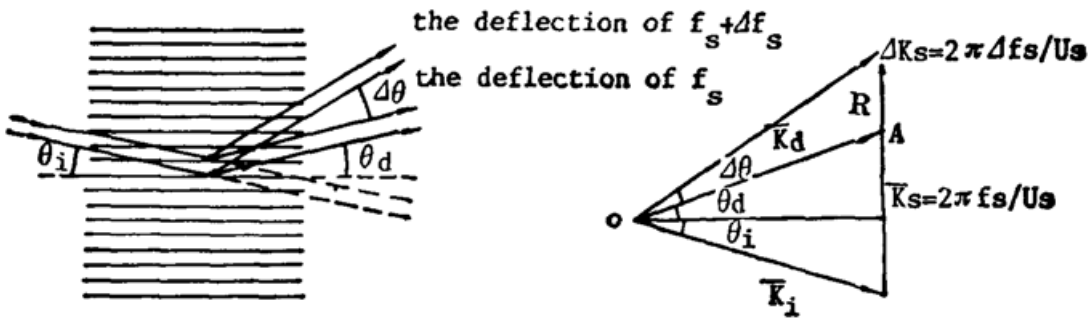


Fig. 1 Schematic drawing of acousto-optical deflection and its vector diagram

式中 V_s 是声速, f_s 为超声频率。

由(1)式可见, 当入射角和衍射角相等时, 则偏转角 θ 为

$$\theta = \theta_i + \theta_d = 2\theta_B = \frac{\lambda}{V_s} f_s \quad (2)$$

如果改变超声频率 f_s , 则

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{V_s} \Delta f_s \quad (3)$$

就可以改变光束的偏转角, 从而达到控制光束传播的方向。

如果给声光晶体加一个宽度为 t_0 , 间隔为 T , 频率呈阶跃变化的超声脉冲波

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= f_s, \\ f_2 &= f_s + \Delta f_s, \\ f_3 &= f_s + 2\Delta f_s, \\ &\vdots \\ f_n &= f_s + (n-1)\Delta f_s. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

则光束在阶跃频率脉冲作用下, 发生点频偏转扫描, 得到曝光时间为 t_0 , 间隔为 T 的光斑阵列, 如图 2 所示。

上述是一维声光点阵偏转的原理, 要实现二维点阵偏转, 则需要再用一个 Y 方向的偏转器件, 并使 X 和 Y 方向的两个声光偏转器件同步偏转, 以实现二维点阵偏转的高速干涉摄影。

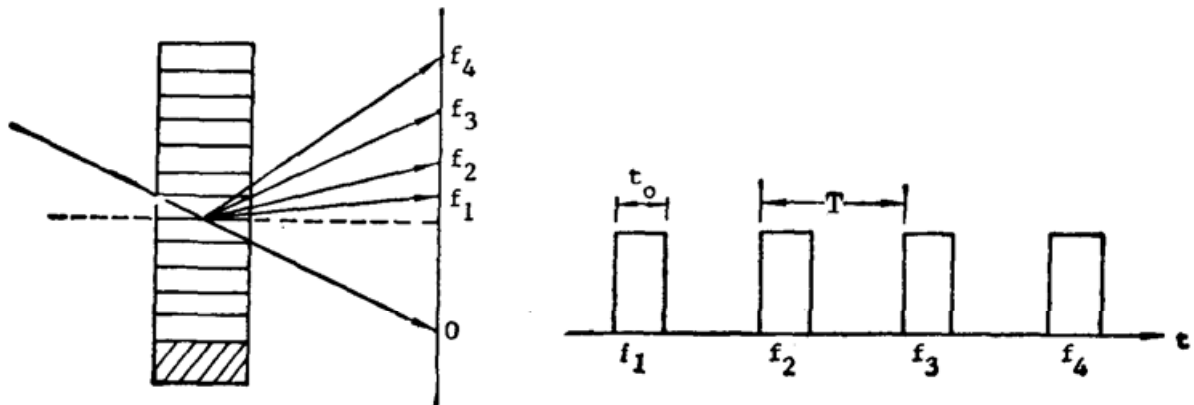


Fig. 2 Schematic drawing of lattice deflection

三、原 理 装 置

二维声光点阵偏转的高速干涉摄影原理装置如图 3 所示, 其中 L_1, L_2 为缩束透镜, C_1, C_2, C_3, C_4 为柱面透镜; A_1, A_2 分别为 X 和 Y 方向的声光偏转晶体。

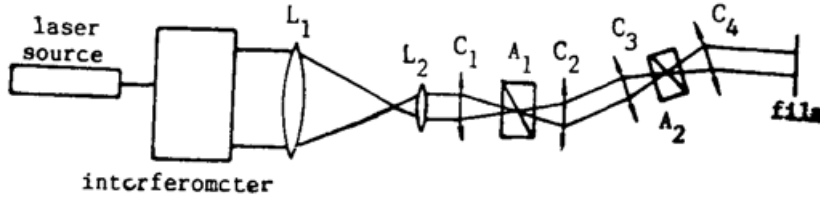


Fig. 3 The schematic diagram of high speed interference photographic device with two-dimensional acousto-optical deflector

由干涉仪产生的干涉图经 L_1 和 L_2 缩束后形成一口径为 $\phi 6\text{ mm}$ 或 $\phi 8\text{ mm}$ 的光束。由公式^[2]

$$N = \frac{D}{V_s} \cdot \Delta f_s = \tau \cdot \Delta f_s, \tag{5}$$

$$\tau = \frac{D}{V_s} \circ \tag{6}$$

其中 N 为可分辨点数, D 为光束宽度, τ 为声波通过光束区的渡越时间, 可以看出, 要提高偏转器的分辨率, 必须增宽超声波的带宽和入射光束的宽度。本文采用柱面透镜 C_1 和 C_3 将光束压缩成薄光片来增加入射光的宽度, 同时, 用同一参数的柱面透镜恢复原场。

要获得畸变较小的偏转图象, 必须精心调试光学系统, 选择优质的声光晶体和光学元件。同时调正入射光束以严格的布喇格角射入晶体, 以获得较高的衍射效率和分辨率。

要使 X - Y 两声光偏转器对入射光束进行同步二维点阵偏转, 设计加在两声光晶体上的驱动电源是很重要的, 电路的方框图如图 4 所示。环形振荡器产生所需工作周期的信号, 经过程序分频, 整形获得定时工作脉冲信号输入控制门电路, X 方向的高频振荡器由控制门电路输出信号而产生不同频率的高频信号, 再经过电压功率放大后, 输出为高频功率放大信号。 Y 方向的工作原理与 X 方向在后面部分相同。调光路时, 断开单次控制电路, 呈连

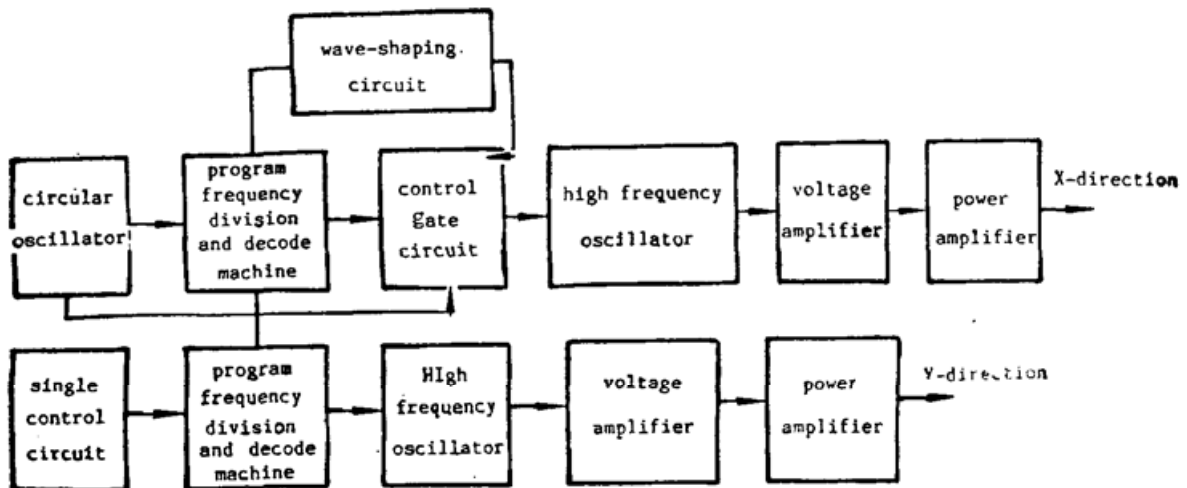


Fig. 4 The circuit diagram of 2-D acousto-optical lattice deflector

续重复扫描,以便于观察,在记录瞬态干涉图时,必须用单次扫描或电触发同步。

实验用图 3 所示的原理装置,对 He-Ne 激光和口径为 $\phi 100\text{ mm}$ 的马赫干涉仪所产生的干涉图进行二维点阵偏转高速记录,其中 A_1 为 X 方向的声光偏转器, A_2 为 Y 方向的声光偏转器。通过调节超声波的频率,每幅曝光时间做到在 $10^{-5}\sim 3\times 10^{-6}$ 秒之间可调,幅频为 10^5 幅/秒,一次可记录 10×10 的一百幅按时间顺序偏转的点阵瞬态干涉图,并用它记录瞬态温度场所产生的干涉图,图 5 为利用一维声光偏转器(X 方向)获得的 10 幅瞬态温度场的干涉图。图 6 为利用二维声光偏转器所获得的一百幅瞬态温度场的时间序列干涉图。



Fig. 5 10 time-serial interferograms of temperature field recorded by one dimensional acousto-optical deflector

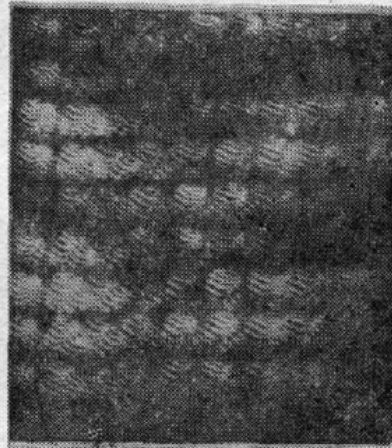


Fig. 6 10×10 time-serial interferograms of temperature field recorded by two-dimensional acousto-optical lattice deflection

四、结 论

1. 这种利用二维声光点阵偏转的高速干涉记录装置,实现了曝光时底片与光场相对不动,不曝光时底片与光场相对运动的理想高速摄影状态,同时记录信息容量大,没有各种机械转动式高速摄影机中的机械转动噪声的干扰。且价格低,特别适用于瞬态干涉图的记录。

2. 由于声光点阵扫描中每点的停留时间受渡越时间的影响,一般仅为 μs 量级,要达到 ns 的量级,可以序列短脉冲激光同步匹配,使每个脉冲光源恰好与点频停留时间一致,则曝光时间可提高到 ns 量级。

3. 由于干涉图经过缩束系统,又经过 4 个柱面透镜和两个声光晶体,光斑的质量受到这些光学元件的影响很大。由于本文仅出于原理方案的可行性研究为目的,对实验装置中的各光学元件,没有考虑其质量和精度,故得到的序列瞬态温度场的干涉图畸变较为明显而各光斑的强度不均匀是光路调正不精细所造成的。

4. 原理实验结果表明,这种利用二维声光偏转器进行高速干涉摄影的方法是可行的,如果光学元件的质量和加工以及声光晶体材料的质量满足设计的要求,则这种高速干涉摄

影方法将具有一定的应用前景。

参 考 文 献

- [1] D. R. Henley, J. L. Turner *et al.*; *Exp. Mech.*, 1975, 15, No. 8 (Aug).
[2] 兰信钜, 黄国标等;《激光技术》, (湖南科学技术出版社, 长沙, 1982), 22.

Study of high speed interference photography with two-dimensional acousto-optical lattice deflection

HE ANZHI, YAN DAPENG AND NI XIAOWU

(Department of Applied Physics, East China Institute of Technology, Nanjin, 210014)

(Received, 15 June 1990; revised, 30 August 1990)

Abstract

This paper presents the principle and the method of high speed interference photography by using the technique of two-dimensional acousto-optical lattice deflection. The light beam carrying interferogram is deflected into a lattice of 10×10 by time-serial and recorded on a fixed film with two acousto-optical deflectors. If a CW laser is used as light source, the exposure time can be adjusted from $10^{-5} \sim 3 \times 10^{-6}$ sec. and the framing frequency is about 10^5 frames/sec. In the study of principle experiment, we have used this method to record the interferograms of transient temperature field.

Key word: acousto-optical deflection, high speed interference photography.