

一种显示位相体空间非均匀性的像面全息方法

田志伟 李正直 魏高尧

(杭州大学物理系)

Image plane holography for displaying inhomogeneity
of a 3-D phase object

Tian Zhiwei, Li Zhengzhi, Wei Gaoyao

(Physics Department, Hangzhou University, Hangzhou)

提要: 本文提出一种利用两次曝光像面全息干涉来研究位相体空间非均匀性的新方法。

关键词: 像面全息, 非均匀性, 再现

一、引言

在位相体的显示中, 不论是经典的相衬法、暗场法, 还是利用两次曝光的全息方法^[1~3], 都只能从某一方向显示, 不能同时显示不同方位的三维情况。为了反映位相体内某种物理场的空间分布, 我们采用透射光栅产生的多束平行光照射透明位相体, 利用两次曝光像面全息方法进行记录, 并在两次曝光之间微量移动位相体。在全息图重现时, 可观察到位相体内折射率梯度分布情况, 从而显示位相体的空间非均匀性。

二、原理

在平行光的光路上加上透射光栅, 产生的多路不同方向的平行光束照射位相体。为简单起见, 对某一方向进行讨论。

设位相体的折射率为 $n(\rho, \theta, z)$, 则物光由位相体引入的光程为:

$$\delta(\rho, \theta) = \int n(\rho, \theta, z) dz \quad (1)$$

ρ, θ 是位相体截面上的极坐标。

第一次曝光时所记录的透明位相体物光波的复振幅分布为:

$$A_1 = a \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda} \delta(\rho, \theta)\right] \quad (2)$$

式中 a 是光波振幅, λ 为光波波长。

第二次曝光时, 令位相体在 ρ 方向(θ 保持不变)作微量移动 $\Delta\rho$, 此时, 物光波的复振幅分布为:

$$A_2 = a \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda} \delta(\rho + \Delta\rho, \theta)\right] \quad (3)$$

经过两次曝光后的全息图重现时, 两相干物波 A_1 和 A_2 发生干涉, 其干涉场的光强分布为:

$$I = |A_1 + A_2|^2 = 2a^2 \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{\lambda} [\delta(\rho + \Delta\rho, \theta) - \delta(\rho, \theta)] \right\} \quad (4)$$

当位相体的移动量很小, 满足下列条件

$$\Delta\delta = \delta(\rho + \Delta\rho, \theta) - \delta(\rho, \theta) = \frac{\partial\delta}{\partial\rho} \Delta\rho \ll \frac{\lambda}{2\pi}$$

即 $\Delta\rho \ll \frac{\lambda}{2\pi} \left(\frac{\partial\delta}{\partial\rho} \right)^{-1}$ 时, (4) 式可写为:

$$I \approx 4a^2 \left[1 - \left(\frac{\pi\Delta\rho}{\lambda} \frac{\partial\delta}{\partial\rho} \right)^2 \right] \quad (5)$$

因为 $\delta(\rho, \theta) = \int n(\rho, \theta, z) dz$,

$$\frac{\partial\delta}{\partial\rho} = \int \frac{\partial n(\rho, \theta, z)}{\partial\rho} dz$$

从(5)式可得, 在干涉场中光强分布决定于折射率的梯度, 反之可以从光强分布获得折射率梯度分布, 折射率梯度分布反映了位相体的光学均匀性。

三、实验与分析

图1是本实验光路图。其中 SF 为空间滤波器; L_1 为准直透镜; S 为分束镜; M_1 、 M_2 、 M_3 为反射镜; G 为透射光栅; O 为位相物体; L_2 为成像透镜; H 为全息干板。

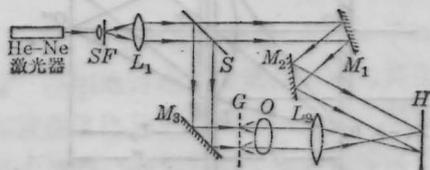


图1 实验光路图

实验步骤:

1. 拍摄全息图。把光路调整好, 进行第一次曝光, 微量移动位相体, 再进行第二次曝光, 得到记录物波信息的全息图。

2. 重现全息图。由于重现时很多不同方向的物波重叠在一起, 为了把物波分离, 在重现全息图后加上透镜, 频谱面上设置小孔

光阑, 分离出不同方向的物波信息。滤出的物波记录在普通底片上。

我们对加热的电烙铁上部空气分布情况进行了研究。用位相体水平移动的两次曝光全息方法, 记录不同方向的物波。重现时, 用普通底片拍摄了 +1 级的两个不同方向的情况。见图2。



图2

由于周围空气的分布随电烙铁的加热情况而变化, 因此, 实验时, 尽可能使电烙铁加热充分长的时间。

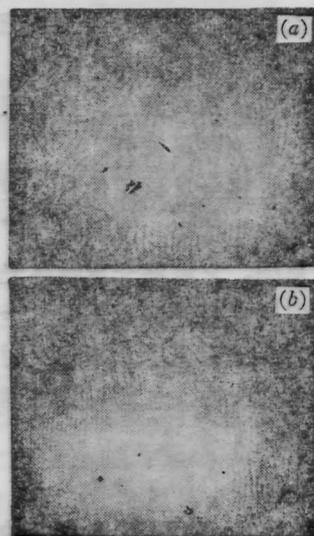


图3

(下转第279页)

每条线都具有一个因多普勒效应引起的谱线强度分布^[5]:

$$I(\nu) = I_0 \exp[-(\nu - \nu_0)/0.36\delta\nu_D^2] \quad (4)$$

实际测量的结果,应是在这个分布下 27 条谱线强度的迭加结果

$$I = \sum_{i=1}^{27} I_i(\nu) \quad (5)$$

(4)式中, I_0 、 ν_0 为(2)、(3)式计算出的谱线频率和强度。 $\delta\nu_D$ 为多普勒宽度,由于每条谱线都是在相同实验条件下测得,因此多普勒宽度相同。在该实验中,原子束的准直因子 $C=10$ 左右,原子束的多普勒宽度为

$$\Gamma = \Gamma_0/C = \delta\nu_D$$

$$\Gamma_0 = 7.16 \times 10^{-7} \nu_0 \sqrt{T/M}$$

由此得到 $\delta\nu_D \cong 100 \text{ MHz} = 0.1 \text{ GHz}$ 。由上考虑,从(5)式计算得到的谱图示于图 5,从该图可见, U^{238} 原子 591.5 nm 谱线的分裂为对称分布,具有 4 个包络峰,与测量结果吻合。

另外,也选择了不同的多普勒宽度(150、100、50 MHz)做了计算。对不同选择,峰的形状差别较大。若选择过大则 4 个包络峰不明显(被多普勒线宽湮没),选择小,则 4 个包

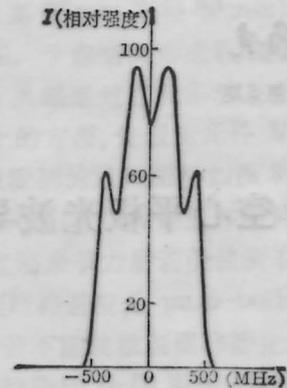


图 5 U^{238} 磁分裂的理论计算结果
络峰变形较大。由此可知,测量中的谱线加宽为 100 MHz 左右。

参 考 文 献

- 1 D. W. Steinhaus *et al.*, LOS Alamos Scientific Laboratory, Report LA-4561, Oct. 1971
- 2 B. A. Palmer *et al.*, LOS Alamos Scientific Laboratory, Report LA-8251, July. 1980
- 3 H. D. V. Bohn *et al.*, *Opt. Commun.*, 22(2), 1978
- 4 Dwight E. Gray, "American Institute of Physics Handbook" p. 7~179
- 5 Jean, Blaise, *J. Opt. Soc. Am.*, (7), (1976)
- 5 Wolfgang Demtrode "laser Spectroscopy", p. 86

(上接第288页)

重铬酸盐明胶经曝光处理后得到的是不随时间变化的位相体。我们对曝光后的重铬酸盐明胶进行了检测。为了明显起见,用强度非均匀的面光源对重铬酸盐明胶进行曝光,因为在一定曝光范围内,重铬酸盐明胶的折射率随着曝光量的增大而增大^[4]。对它进行位相体微量移动的两次曝光全息记录。然后,用普通底片拍摄了重现时 +1 级两个不同方向分布的情况(见图 3)。

四、讨 论

1. 在原理中,曾讨论到只有当

$$\Delta\delta = \frac{\partial\delta}{\partial\rho} \Delta\rho \ll \frac{\lambda}{2\pi}$$

时,才有

$$I \approx 4a^2 \left[1 - \left(\frac{\pi\Delta\rho}{\lambda} \frac{\partial\delta}{\partial\rho} \right)^2 \right]$$

设 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, 移动量 $\Delta\rho = 0.01 \text{ mm}$, 则所得的梯度变化 $\frac{\partial\delta}{\partial\rho}$ 远小于 10^{-2} 的数量级。

因此,要测量梯度变化较大的位相体,移动量必须非常小。移动量越小,梯度变化越明显。

2. 本方法可应用于显示各种位相体的非均匀性。如果对移动量进行精确控制,通过条纹的测量计算,可以得到位相体内光学非均匀性的具体值。

参 考 文 献

- 1 Y. I. Oatrovsky *et al.*, "Interferometry for holography" (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1980), p. 141
- 2 李锡善 *et al.*, 中国激光, 11(2), 100(1984)
- 3 O. Eyringdahl *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, 58, 141 (1968)
- 4 H. M. 史密斯, 全息记录材料(科学出版社, 1984), p. 96