

平行轴多面元全息透镜

张聚成

(河北省科学院激光研究所)

提要: 介绍了干板移位多曝光全息术和用这种技术制作的平行轴多面元全息透镜, 以及用这种透镜做的某些特殊光学变换。提出了这种透镜的某些可能性应用。

Multi-facet holographic lens with parallel axes

Zhang Jucheng

(Laser Research Institute, Hebei Academy of Sciences)

Abstract: The multi-exposure holography with plate position shifting and the multi-facet holographic lens with parallel axes are presented. Some special transformations by means of these lenses are demonstrated as well as some possible applications of these lenses.

一、引言

全息光学元件不仅有可能代替光学系统中的普通光学元件, 使系统简化, 而且还可做普通光学元件无法做到的某些特殊光学变换。因此对全息光学元件的研究一直是引人注目的课题。干板移位多曝光全息术的特点是在多次曝光过程中, 除了干板架的调节之外, 整个装置其他部分都保持不变, 这样就避免了调节物光和(或)参考光给装置和操作带来的复杂性。用此方法可制作平行轴多面元全息透镜。这种透镜可将光束在三维空间的预定位置上进行多点聚焦, 也可将一景物在三维空间的预定位置上一次成多个象。我们用此方法制作了3、6、12、16和25轴多面元全息透镜, 并用这些透镜在平行光、会聚光和

发散光中做了会聚成多个光点的实验。我们还用这种透镜做了将一景物一次成多象的实验。在用光束照明这种透镜时, 反射+1级衍射光与透射+1级衍射光关于其表面成镜像对称。因此, 我们也可将其作为反射镜之用。透射和反射的两个-1级衍射光也有一些有趣的性质。

二、平行轴多面元全息透镜的制作

制作平行轴多面元全息透镜的光路如图1所示。由激光器 S 发出的光经分光镜 SP 分为两束。反射的一束经反射镜 M 、扩束器 N_2 和会聚透镜 L_2 变成会聚光做物

收稿日期: 1983年5月17日。

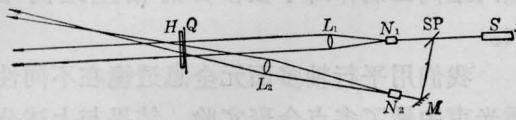


图1 制作平行轴多面元全息透镜光路图

光。注意使物光会聚点落在全息干板 H 后面，会聚点与全息干板乳剂面间的距离根据全息透镜的使用要求按后面给出的方程组(2)算出。透过分光镜 SP 的一束光经扩束器 N_1 和准直透镜 L_1 变成平行光做参考光。全息干板乳剂面朝向参考光并与之垂直。物光轴与参考光夹角约 5° 。这个角要适当选择，夹角太小，透镜在使用时容易受零级衍射光的影响；夹角太大，对干板和设备性能的要求则提高。 Q 为带孔遮板，它紧贴在干板乳剂面之前，使干板在每次曝光时仅露出需要曝光的部分。遮板上孔的形状和大小根据全息透镜光轴的分布情况而定。一般说来，光轴纵横阵列分布的采用矩形孔，周向分布的采用扇形孔。

将一块与干板尺寸相同的玻璃装入干板架，调节干板架，使玻璃板的适当部分位于参物光重叠区，将遮板置于玻璃板之前并调好孔的位置和方向。这些调节是根据透镜的使用要求设计的。关闭快门，将玻璃板换成全息干板，注意使遮板保持不动。等台子稳定后，进行第一次曝光。按预先计算好的数据调节干板架，使干板移动到第二次曝光所需要的位置，并根据第二次曝光的要求调节遮板孔的位置和方向，然后进行第二次曝光。这样反复操作，直到所有的曝光做完为止。注意每次曝光时间要相同。将曝光完的干板做常规处理，便得到了一张平行轴多面元全息透镜。我们将这种方法称为干板移位多曝光全息术。

三、多点会聚

将平行轴多面元全息透镜置于光束中，

便在其 $+1$ 级衍射光中出现若干个会聚点，这种多点会聚的原理与普通全息图再现原理^[1] 完全相同。如图2所示，取全息干板乳剂表面为笛卡儿坐标系的 XY 平面。 u_i 为第 i 次曝光时的物光，其会聚点坐标为 (x_i, y_i, z_i) 。 u_R 为参考光，是一束垂直于 XY 平面的平行光。 u_o 为照明光，其焦点坐标为 (x_o, y_o, z_o) 。设 u_i, u_R, u_o 在坐标原点的初相位均为零，略去干板处理时的胀缩影响，则当用 u_o 照明全息透镜时，其 $+1$ 级衍射光为

$$u'_i = U \exp \left[ik_2 \left(\frac{x^2 + y^2}{2z'_i} - \frac{x'_i x + y'_i y}{z'_i} \right) \right] \quad (1)$$

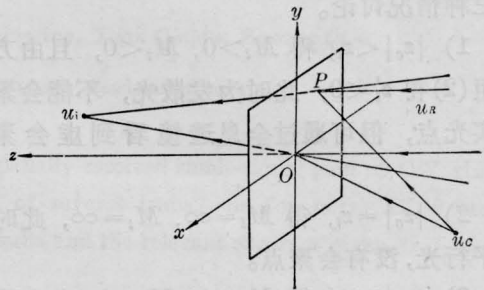


图2 坐标系

其中 $U = \beta CAR$ 为一常数， $k_2 = 2\pi/\lambda_2$ ， λ_2 为再现光波长，

$$\begin{cases} z'_i = \left(\frac{1}{z_o} + \frac{m}{z_i} \right)^{-1} \\ x'_i = z'_i \left(\frac{x_o}{z_o} + \frac{m x_i}{z_i} \right) \\ y'_i = z'_i \left(\frac{y_o}{z_o} + \frac{m y_i}{z_i} \right) \end{cases} \quad (2)$$

$m = \lambda_2/\lambda_1$ ， λ_1 为制作全息透镜时使用的光波长。根据各物点的坐标及其他参数，便可通过方程组(2)求出各相应会聚点的空间位置。同样，如果给定了会聚点的空间位置，便可根据方程组(2)和有关参数求出各相应物点的坐标，由各物点的坐标便可得出各次曝光间干板移动的方向和距离。

下面分析在不同光束中使用平行轴多面元全息透镜时各会聚点间距离的变化情况。为简单计，我们设 $m = 1$ ，则全息透镜的轴向

和横向放大率分别为

$$M_l = \left(\frac{z_i}{z_o} + 1\right)^{-2} \quad (3)$$

$$M_t = \left(\frac{z_i}{z_o} + 1\right)^{-1} \quad (4)$$

由坐标系选取方式知 $z_i > 0$ 。

A) 若 u_o 为准直光, 则 $z_o = \infty$, 得 $M_l = M_t = 1$, 各会聚点间距离与制作时各次曝光间干板移动的相应距离相同。

B) 若 u_o 为会聚光, 则 $z_o > 0$, 得 $0 < M_l < 1, 0 < M_t < 1$, 各会聚点间距离比制作时干板移动的相应距离减小。

C) 若 u_o 为发散光, 则 $z_o < 0, \frac{z_i}{z_o} < 0$, 再分三种情况讨论。

1) $|z_o| < z_i$, 得 $M_l > 0, M_t < 0$, 且由方程组(2)得 $z'_i < 0$, 此时为发散光, 不能会聚成实光点, 但可通过全息透镜看到虚会聚点。

2) $|z_o| = z_i$, 得 $M_l = \infty, M_t = \infty$, 此时为平行光, 没有会聚点。

3) $|z_o| > z_i$, 得 $M_l > 1, M_t > 1$, 各会聚

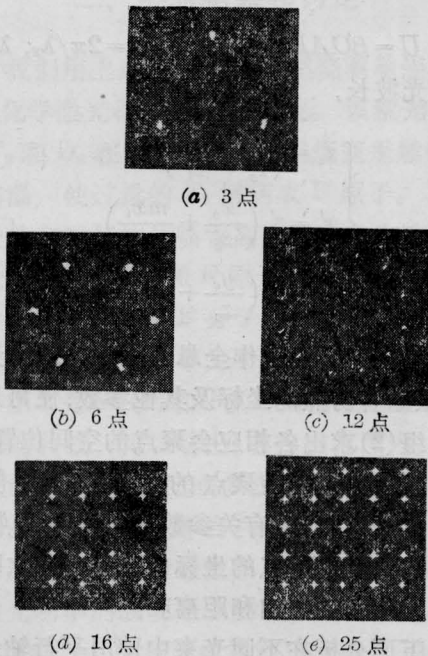


图3 用平行轴多面元全息透镜在平行光中多点会聚的实验结果

点间距离比制作时干板移动的相应距离增大。

我们用平行轴多面元全息透镜在不同性质光束中做了多点会聚实验, 结果与上述分析一致。图3是在平行光中分别用3、6、12、16和25轴多面元全息透镜所做的多点会聚实验结果。图4是用12轴12面元全息透镜分别在会聚光、平行光和发散光中所做的12点会聚实验结果。



图4 用12轴12面元全息透镜在不同性质光束中的多点会聚实验结果

四、一次成多个象

利用平行轴多面元全息透镜的多光轴多焦点特性, 可以将一景物一次成多个象, 其成象原理与在发散光中多点会聚的原理相同。照明光的焦点相当于物点, 经全息透镜会聚成的点相当于象点, 这些象的大小也可连续调节。由于我们用银盐干板制成的全息透镜的衍射效率太低, 直接用于漫反射物体的成象实验无法做成。我们采用了另外一种方法, 使平行轴多面元全息透镜与普通透镜相结合, 将部分透明景物一次变换成多个象。所采用的光路及在各不同位置的成象情况如图5所示。其中 L_1 为会聚透镜, 使照明光

变为会聚光, L_2 是成象透镜, 注意使 L_2 的光轴与平行轴多面元全息透镜的 +1 级衍射光的中心轴线重合。部分透明景物 O 要位于全息透镜各面元 +1 级衍射光的重迭区, 且使每一面元的 +1 级衍射光都将整个景物照亮。由于这个重迭区面积较小, 因而被照景物的尺寸也较小, 这是这种方法的一个缺点。 H 为平行轴多面元全息透镜, 其表面与照明光光轴垂直。图 6 是用 3 轴 3 面元全息透镜在图 5 所示的一系列位置得到的象。

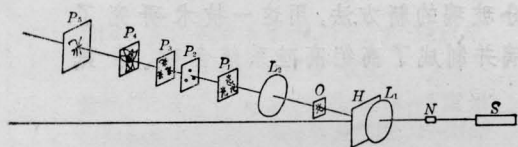


图 5 用平行轴多面元全息透镜一次成多象的实验光路及成象示意图

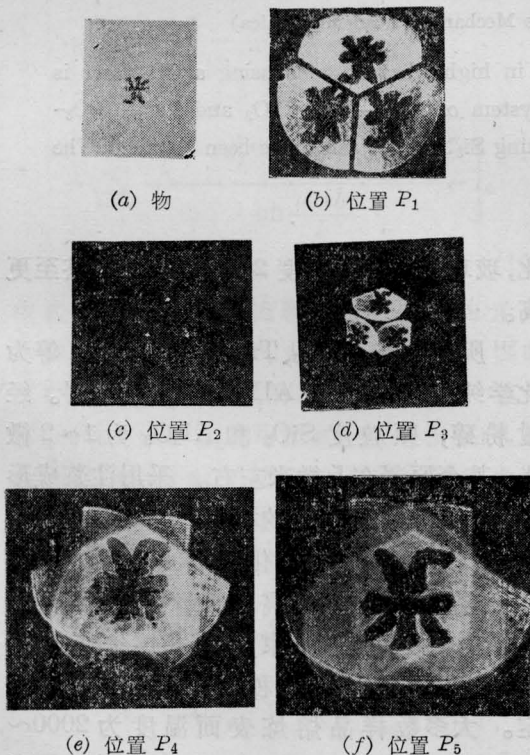


图 6 用 3 轴 3 面元全息透镜在图 5 所示光路的各个位置所成的象

五、几种可能应用

1. 采用图 5 所示的光路, 去掉用于成象的景物, 将记录介质放在 H 和 L_2 间或 P_3 和 P_5 间的适当位置上可制作多向相交光栅。光栅方向数由平行轴多面元全息透镜的光轴数决定, 光栅间距由 L_1 、 L_2 和 H 的焦距及三者之间的相对位置、记录介质所放的位置决定。在大批量制作多向相交光栅时, 用这种方法比通常所用的方法要简便得多。

2. 图 5 所示的光路, 还可做保密存储或保密通讯。方法是在 P_3 和 P_5 间适当位置上记录模糊图样, 制成胶片存起来, 需要时将胶片置于去掉景物的原光路的原位置上, 便可在 P_5 处得到倒立的实象, 这就是保密存储。若将模糊图样传输出去, 接收之后再同样的方式观察, 便是保密通讯。只要将平行轴多面元全息透镜和光路的参数保密, 别人是无法破译的。

3. 可用于精测大口径激光束波前曲率。用透镜阵列精测大口径激光束波前曲率是最近提出的一种精确测量技术^[2], 其中关键器件透镜阵列的制作难度很大, 不仅要求每个透镜的加工要精确, 而且各透镜的装配也要精确。所用透镜的数目越多, 波前曲率的测量越完善, 而透镜阵列的加工和装配的难度却越大。平行轴多面元全息透镜可代替上述透镜阵列, 而制作要比透镜阵列容易得多。

4. 用于激光焊接或激光打孔的光路中, 可将某些工件上的多个位置上的点(孔)一次焊(打)成, 可大大简化加工手续, 节省时间, 降低成本。

参 考 文 献

- [1] R. J. Collier *et al.* "Optical Holography", Academic Press, New York and London, 1971.
- [2] 梁向春, 邓锡铭;《中国激光》, 1983, 10, No. 3, 179~182.