

全息透镜的制备及应用

1.基本要求

- (1) 掌握同轴全息透镜的基本原理和方法。
- (2) 制作一个全息透镜，观察它的成像特性，并与普通透镜作比较。
- (3) 联系基元全息图的概念，进一步理解光信息记录原理及技术。

2.基本原理

全息透镜实际上是一张球面波基元全息图（或称点源的全息图）。它相当于一块菲涅耳波带片，具有类似透镜的会聚作用和成像特性。全息透镜易制成较大的尺寸，造价低制作方法简单，易复制，重量轻，因而在某些场合具有独特用途。

全息透镜可用一个球面波与平面波相干，或两束球面波相干来记录。全息透镜分同轴全息透镜、离轴全息透镜和反射型全息透镜。

同轴全息透镜类似于菲涅耳波带片，实质上是一组透光与不透光相同的同心圆环，又称为全息波带片。一个点物的全息图就是一个全息透镜，当点物与参考点光源的连线通过全息图中心时，得到的全息图就是同轴全息透镜。如图 2.1 所示，A 点是物点，坐标为(0, 0, z_a)，B 为参考点源，其坐标为(0, 0, z_b)，如 z_a , z_b 均代表代数量，则 A, B 在 H 上的复振幅分布分别为

$$u_a(x, y) = A_0 \exp\left(-jk \frac{x^2 + y^2}{2z_a}\right) \quad (1)$$

$$u_b(x, y) = B_0 \exp\left(-jk \frac{x^2 + y^2}{2z_b}\right) \quad (2)$$

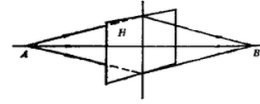


图 2.1 同轴全息透镜的形成

H 上的光强分布为

$$I(x, y) = A_0^2 + B_0^2 + A_0 B_0 \exp\left[jk \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{z_a} - \frac{1}{z_b}\right)\right] + A_0 B_0 \exp\left[-jk \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{z_a} - \frac{1}{z_b}\right)\right] \quad (3)$$

经过线性处理后，全息图的透过率

$$t(x, y) = t_0 + t_1 \exp\left[-jk \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{z_a} - \frac{1}{z_b}\right)\right] + t_1 \exp\left[jk \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{z_a} - \frac{1}{z_b}\right)\right] \quad (4)$$

式（4）中， t_0 、 t_1 是与 x 无关的常数。对应于图 1 的情况， $z_a < 0$, $z_b > 0$ 。

所以 $\frac{1}{z_a} - \frac{1}{z_b} < 0$ ，于是式（4）中第二项相当于负透镜，第三项相当于正透镜，第

一项相当于一个平板玻璃。

全息透镜还有一些与普通透镜不同的特点，除前面提到的三种作用同时并存外，衍射还可能出现高级次，因而有多重焦距，多重像。由于全息透镜的焦距与所使用的光波长有关，

因而有明显的色散现象存在。

这些特点可由实验观察到。如让日光通过全息透镜，即可观察到不同衍射的光的焦点不同，出现多重焦距；透过全息透镜观看一个发光的白炽灯，会看到灯丝的多重像。

实验光路如图 2.2 所示

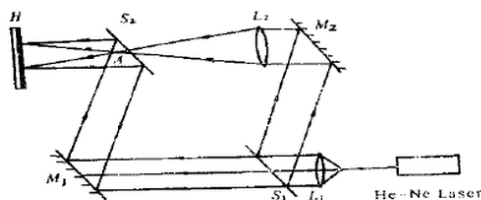


图 2.2 同轴全息透镜记录光路

激光通过 L_1 准直透镜变成平行激光束，经分束镜 S_1 将激光束分为两束，一束经全反射镜 M_1 全反射，再经半透半反镜 S_2 反射照射到感光底片 H 上；另一束经 S_1 反射后再经全反射镜 M_2 反射，经过会聚透镜 L 聚集于 A 点， A 点相当于一个点光源，它发出的球面波与由 M_1 反射的光波同轴投射到感光底片上。两束光在底片上相干形成明暗相间的同心干涉条纹。在中心部位的干涉条纹，由于球面波的光线与平面波光线之间的夹角很小，结果条纹间隔较疏；而边缘部位由两束光光线的理角逐渐扩大，条纹逐渐变密。条纹分布类似于菲涅耳波带片，故也称全息波带片。

透射型离轴全息透镜实验光路如图 2.3 所示。

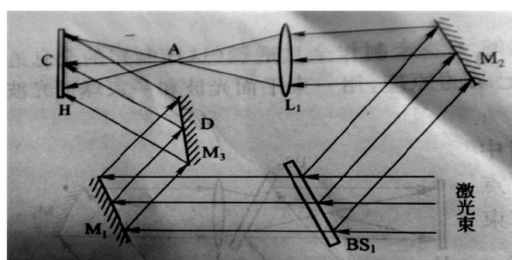


图 2.3 透射型离轴全息透镜实验光路

基本原理：平行光束经过分束镜 BS_1 将激光束分成两束，一束经过全反射镜 M_1 反射，在经过全反射镜 M_3 反射照射到感光底片 H 上；另一束则是经过 BS_1 反射后在经过全反射镜 M_2 反射，再经会聚透镜 L_1 聚集于 A 点， A 点相当于一个点光源，它发出的球面波与由 M_3 反射的光波离轴投射到感光底片上。两束光在底片上相干形成明暗相间的同心干涉条纹。在中心部位的干涉条纹，由于球面波的光线与平面波光线的夹角很大，结果只有中心一点可以看出干涉现象。

3. 实验仪器及相关作用

3.1 实验仪器

He-Ne 激光器一台，全反射镜二个，分束镜二个(50%)，准直透镜一只，透镜一个，洗相设备一套，屏、光学元件调节架、全息干板等。

3.2 主要仪器的相关作用

1. He-Ne 激光器：实验用光源，可以作为光路准直调节的平行光线以及制备全息透镜的光源。
2. 全反射镜：在实验中反射来自分束镜后的光束，改变其光路，使得两束光能够构成干涉条件。
3. 分束镜：把经过扩束镜和准直透镜的光束均匀分成两束光束，使得两束光形成相干光。
4. 准直透镜：准直，使得从激光器中出来的光束是沿平行直线传播。

- 5.洗相设备：洗相。
- 6.全息干板：曝光拍照。

4.实验过程及结论

4.1 光路设计

实验采用马赫-曾德尔干涉系统，其光路示意图如图 4.1 所示。

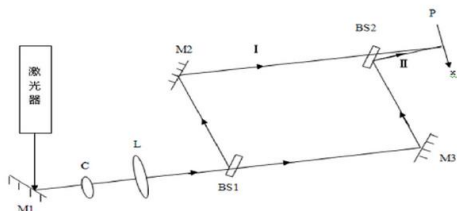


图 4.1 马赫-曾德尔干涉系统示意图

图中 C 表示扩束镜，在实际实验中没有，用针孔滤波器代替，L 是准直透镜。BS1、BS2 代表分束镜，M1、M2、M3 为反射镜，P 为光屏。

它是由两块分束镜（半反半透镜）和两块全反射镜组成，四个反射面接近互相平行，中心光路构成一个平行四边形。从激光器出射的光束经过扩束镜及准直镜，形成一束宽度合适的平行光束。这束平行光射入分束板之后分为两束。一束由分束板反射后达反射镜，经过其再次反射并透过另一个分束镜，这是第一束光；另一束透过分束镜，经反射镜及分束镜两次反射后射出，这是第二束光。在最后一块分束镜前方两束光的重叠区域放上屏 P。若 I，II 两束光严格平行，则在屏幕不出现干涉条纹；若两束光在水平方向有一个交角，那么在屏幕的竖直方向出现干涉条纹，而且两束光交角越大，干涉条纹越密。

4.2 光路调节

马赫-泽德干涉仪调节步骤如下：

1. 根据实验光路，选择适当的光学元件及相应的具有调节机构的光具架。扩束镜用针孔滤波器代替，反射镜 M1、M2 和分束镜 BS1、BS2 在宽光束中工作，其孔径应至少大于准直透镜孔径。各种光具架一般应具有高度调节机构和方向、俯仰微调机构。

2. 调节激光光束与工作台平行。首先要使激光器的高度合适，使其出射的光束与实验中所用的光学元件的中心高度基本一致。例如，实验中所有的光学元件的中心高度为 180mm，调节激光器，使其射出的光束不但高度合适而且与平台平行，检查方法是可以将一个小孔光阑放在激光器前，小孔高度约为 180mm，前后移动光阑，使光束都能通过小孔光阑，这说明光束与平台平行且高度合适。

3. 调节针孔滤波器。先在激光器前方一定距离处放一光屏 P2 并在光屏上细光束入射点处用水笔作一定位标记，调整过程中不要触动光屏 P2。然后在光路中推入以卸下针孔的针孔滤波器，同时在针孔滤波器的扩束镜一侧的光路中放入带有 3-5mm 小孔的屏 P1，让激光束无阻挡地通过，并入射到扩束镜中，调整针孔滤波器（平移或转动）使从扩束镜出射到投在 P2 屏上的光斑为一平滑的圆光斑，其中心在屏 P2 的定位标记处，同时使出现在光屏 P1 面上的一组同心圆环与 P1 上的小孔同心。这组类似于牛顿干涉圆环的同心环带是入射光束被扩束镜前后表面部分反射后形成的干涉条纹。这部分调整工作非常重要，扩束镜的轴线与系统的光轴不一致有可能的不到理想的结果。接着移去光屏 P1，装上针孔，利用针孔滤波器上 x，y 方向的两个测微头，改变针孔在 x，y 面上的位置，直到光屏 P2 上出现针孔射出的暗淡的衍射光斑，然后通过微调 z 方向的测微头，轴向移动扩束镜，对针孔调焦。正确调焦，使 P2 屏上光斑最亮，同时微调 x，y 方向的测微头，最后可在光屏 P2 上得到以标志点

为中心的既大又亮又圆的衍射光斑，这是针孔滤波器的最佳位置。

4.在针孔滤波器前放置准直镜 L，前后移动 L 到最佳位置，使由 L 射出的光束为平行光。

5.使所有光学元件的面与光束垂直。首先调节各元件的镜座高度，使各光学元件的中心高度与光束一致。然后在准直镜 L 的前方分别放入各光学元件 M1、M2、BS1、BS2，调节各光学元件的仰角使反射光束重合，并如图 4.1 所示把它们摆成一各平行四边形，使两束光光程基本一样，把小孔光阑放在两束光中，进一步检查各光束是否与工作台面平行。

6.放上屏，调节 M1、M2、BS1、BS2 使两光束会合于 BS2 的出射面，并会合于屏上。7.这时屏上的光斑不一定能很好的重合，可将小孔光阑放在准直镜 L 与分束镜 BS1 之间，调节 M2，使经过小孔光阑的两束光在 BS2 的出射面上重合，再调节 S2 使两束光在屏面上重合。再反复调节一次 M2 及 BS2，使两束光在 BS2 出射面和屏面上都很好重合为止。这时两束光接近平行，撤去光阑，在屏上可以看到干涉条纹，如图 4.5 所示，微调 BS2 或 M2 的转角及仰角可改变条纹的宽度及方向。

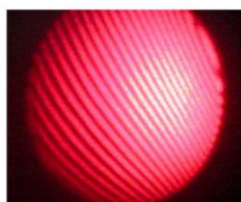


图 4.5 干涉条纹

再现

武汉理工大学《开放性实验（全息透镜的制备和应用）》开放性实验说明书

9 在冲洗完并烘干后的全息干板放置在平面波前，并且在平行平面波前放置一个有一定形状的透光孔作为物。在干板后放置一个接收屏，移动屏可以发现，当屏在小于焦点处屏上会出现一个正立缩小的像；当屏在焦点处则出现一个圆点；在屏处在大于焦点处则出现一个倒立放大的像，图 4.7 和图 4.8 分别所示为共轴和离轴全息透镜的像。



图 4.7 共轴全息透镜的像



图 4.8 离轴全息透镜的像