

浙江大学

本科实验报告

课程名称: 物理光学实验

姓 名: 毛永奇

学 院: 光电科学与工程学院

专 业: 光电信息科学与工程

学 号: 3220103385

指导教师: 林磊

2024 年 11 月 7 日

专业：光电信息科学与工程

姓名：毛永奇

学号：322103385

日期：2024年 11月 7日

地点：光仪中心 121

浙江大学实验报告

课程名称：物理光学实验 指导老师：林磊 成绩：

实验名称：全息光学实验 实验类型：综合型

一、实验目的和要求（必填）

二、实验内容和原理（必填）

三、主要仪器设备（必填）

四、操作方法和实验步骤

五、实验数据记录和处理

六、实验结果与分析（必填）

七、讨论、心得

实验二 全息光学实验

一、实验目的和要求

- 了解全息照相的记录和重现原理，掌握光信息记录的一般原理；
- 学习全息光栅的设计、光路调整、制备和性能测试方法；
- 学会本实验中的基本实验技术，为进一步的实验研究打下基础。

二、实验内容和原理

1. 全息照相

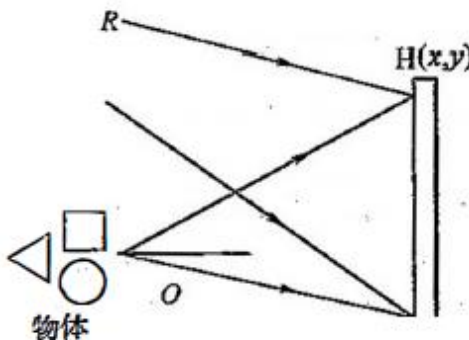


图 1 全息照相原理图

全息照相是利用光波前的干涉记录和衍射重现，使物光波的全部信息被记录和重现。由于记录物光波振幅和相位信息的感光材料只对光的强度具有感光度，为此采用相干光，把具有振幅和相位信息的物光波和未受物体调制的光（称为参考光）相干涉的干涉条纹以强度分布形式记录成全息图，所以全息图实际是一张干涉图。

如图 1 所示，底片上一点 (x,y) 处物光束 O 和参考光束 R 的复振幅分别是

$$O(x, y) = A_o(x, y)e^{i\varphi_o(x, y)}$$

$$R(x, y) = A_r(x, y)e^{i\varphi_r(x, y)}$$

由于它们是相干光束，所以全息底片上的光强是它们合振幅的平方，即：

$$\begin{aligned} I(x, y) &= |O + R|^2 = OO^* + RR^* + RO^* + R^*O \\ &= A_o^2 + A_r^2 + A_oA_re^{-i(\varphi_o - \varphi_r)} + A_oA_re^{i(\varphi_o - \varphi_r)} \\ &= A_o^2 + A_r^2 + 2A_rA_o\cos(\varphi_o - \varphi_r) \end{aligned}$$

式子第三项反映了两束相干光的振幅和相对相位的关系，这样全息照相把物光束的振幅和相位两种信息全部记录下来了。干涉的作用把光波的相位转换成光强记录下来。

拍摄好的全息底片，经过适当的显影、定影和漂白处理后，底片上各点的振幅透射系数与入射光强 $I(x, y)$ 的关系如下：

$$t(x, y) = t_o + \beta|O + R|^2$$

式中， t_o 为底片的灰雾度， β 为比例常数（对于负片 $\beta < 0$ ；正片 $\beta > 0$ ）。设照射在全息图上的重现相干光的复振幅也为 R ，则透过全息图的复振幅 $A(x, y)$ 为：

$$A(x, y) = t_oR + \beta R(|O|^2 + |R|^2) + \beta RR^*O + \beta RRO^*$$

上式说明经全息图透射后的光包含三个不同的分量：前两项代表的是强度衰减的直接透射光；第三项正比于 O ，即除振幅大小改变外，原来的物光准确地重现了，波前发散形成物体（在原来位置上）的虚像；第四项是与物光共轭的光波，这意味着在虚像的相反一侧会聚成一个共轭的实像。

2. 全息光栅

由前面讨论可知，一张全息图实际上是一块复杂光栅，当物光波和参考光波都是平面波时，两个相干光波的叠加，形成一个平面波全息图，得到的全息图就是一块余弦光栅，称为全息光栅。与普通光栅相比，全息光栅具有无鬼线、制作方便、重量轻等特点。除了用于光谱仪器中的分光元件之外，在光学信息处理中被作为空间滤波器而广泛使用。同理，使用球面波和平面波干涉可以产生同心圆形状的光强分布，本次实验就采用这种方法曝光制作同心圆形状的全息光栅。

三、主要仪器设备

激光器、光功率计、扩束镜、准直镜、全息干板、夹具、刻度板、被摄物体等。本次实验采用的全息干板由玻璃基底和光敏聚合物制成，属于相位型干板。

四、操作方法和实验步骤

1. 拍摄全息照片

拍摄全息照片时搭建光路为正入射式，将物体放置于干板后侧，利用干板后表面反射光和物体反射光产生的干涉，在干板上引起光强分布变化实现全息照片的拍摄。光路图如下所示：

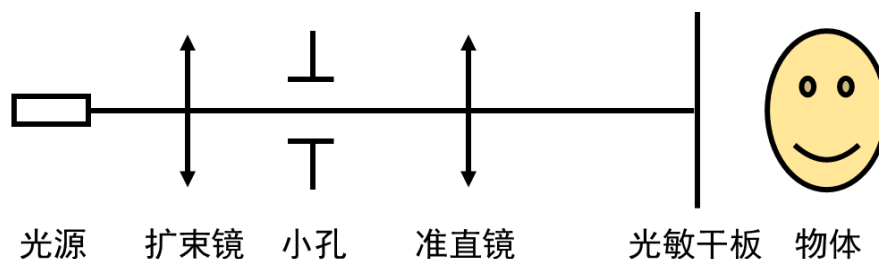


图 2 共轴式全息光路图

实验操作步骤如下：

- 1) 粗调光学元件高度，使之大致等高共轴，打开激光光源。
- 2) 根据激光光源高度细调扩束镜的高度，令透镜两个曲面的反射光斑位于相同高度。然后左右移动扩束镜，令透镜曲面反射光斑基本重合于光源处。至此扩束镜等高同轴调节完毕。
- 3) 在光敏干板的位置放置半透半反的平行平板，利用剪切干涉调节准直镜的位置。当剪切干涉呈现的条纹间隔最大时，光路准直已调节完毕。
- 4) 用与 2) 相同的步骤调节准直镜的等高同轴。
- 5) 调整光敏干板支架位置，令准直后的光斑大部分位于干板上。用光功率计探测光斑的功率，计算干板曝光时间。
- 6) 在干板后侧放置物体，根据计算的曝光时间曝光干板。
- 7) 将曝光后的干板放在户外白光照射下定型。

2. 制作全息光栅

本次实验使用马赫-曾德干涉方式制备全息光栅，将两臂调整完毕产生干涉条纹后，在一臂中插入透镜使之成为球面波，形成球面波与平面波干涉图样（同心圆环）。在两束光干涉区域放置光敏干板曝光制作全息光栅。

- 1) 参考拍摄全息照片的光路调节方法 1)，2)，4)，将激光光束扩束准直为光斑较大的平行光。
- 2) 以扩束后的光斑为标准，调节平行平板、平面反射镜的高度与位置，搭建马赫-曾德干涉装置。细调平行平板、平面反射镜的角度，令干涉图样的条纹间隔最大。
- 3) 在一臂中插入透镜，调节透镜的位置与角度，使之仍与原光路元件等高

同轴。此时两臂产生的干涉为球面波与平面波的干涉。

- 4) 在两束光干涉输出区域用光功率计测量光强，计算曝光时间。
- 5) 在干涉区域放置光敏干板，根据计算的曝光时间曝光干板。曝光后的干板在户外白光照射下定型。
- 6) 令准直后的光束照在全息底片上，移动全息底片位置，观察平行光照射在曝光后的全息底片上产生的聚焦效果。

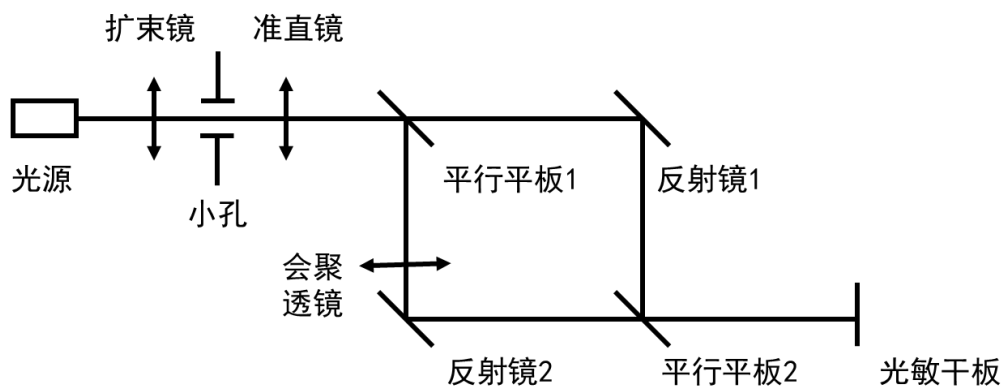
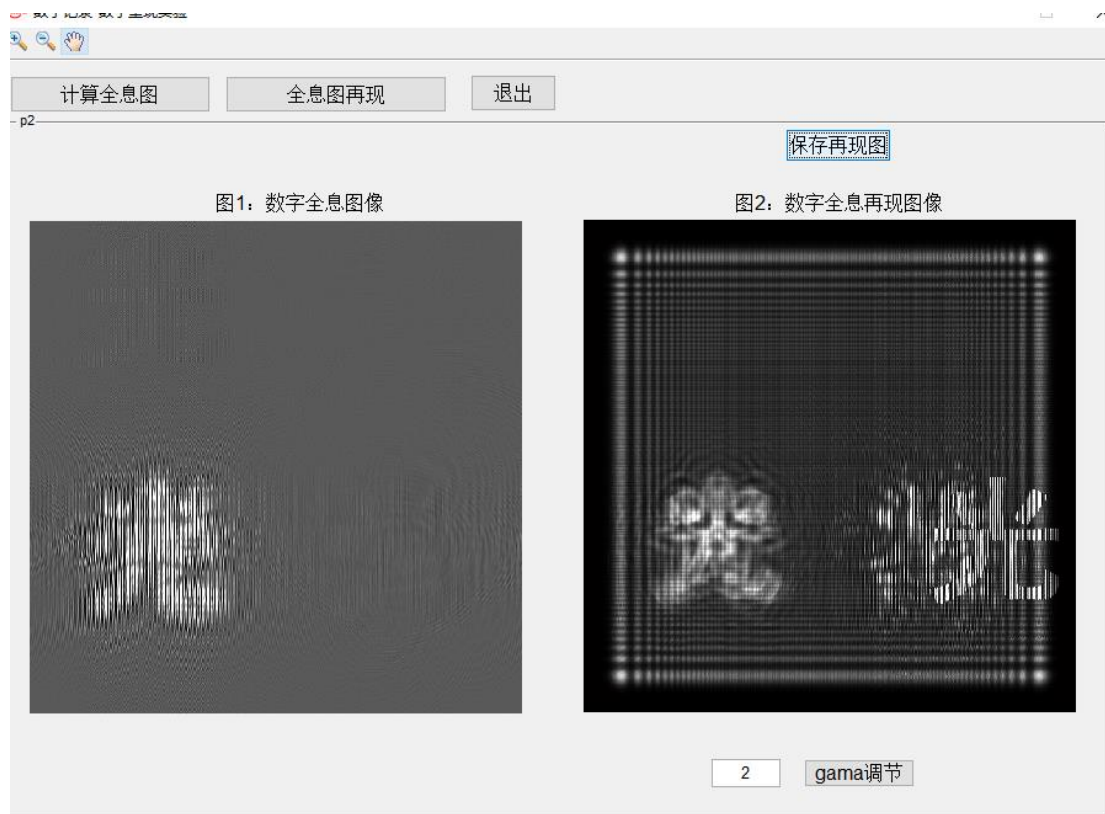


图 3 马赫-曾德式全息干涉光路图

五、实验数据记录和处理

1) 数字记录，数字再现



如上图所示，我们对“光”生成了全息图，并将其进行了数字再现。

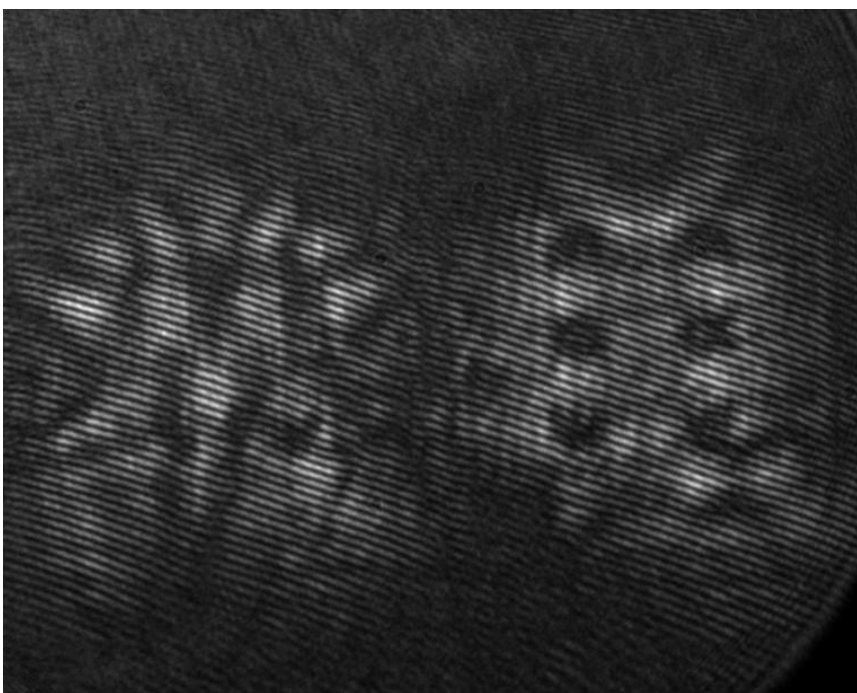
2) 数字记录，光学再现

我们对上一个实验的数字记录结果，进行了光学再现，同样得到下面的再现结果：



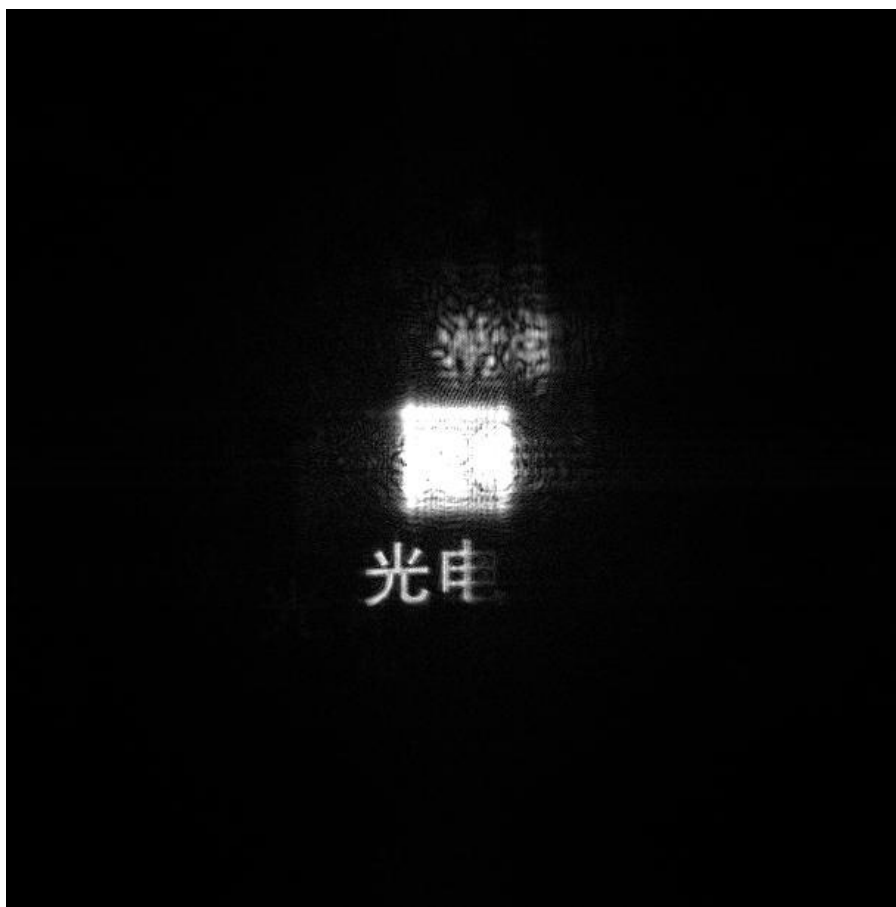
由于成像过小，所以我们采用了相机收集图像。

3) 光学记录，数字再现



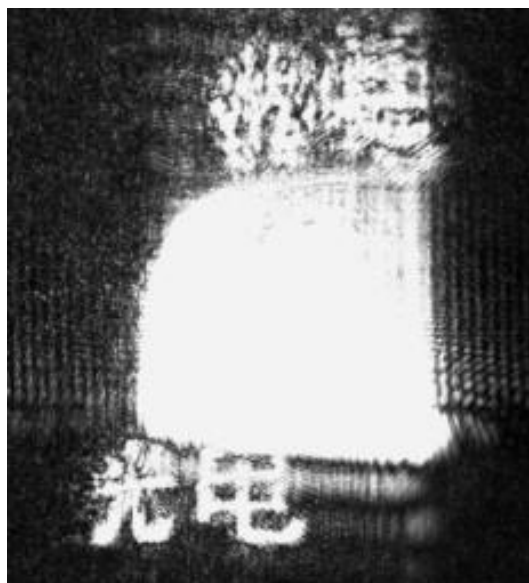
上图是我们使用的物体在相机上呈现的全息图，是“光电”二字。

将这个光学记录的图片截图输入到数字再现软件中，我们得到了下图：



4) 光学记录，光学再现

该实验同样采用前一个实验光学记录的结果，将一路物体光遮住后，我们进行了光学再现。



由于成像过小，所以我们采用相机收集了光学再现的结果，如上图所示。

六、思考题

1. 全息光栅与刻画光栅有什么不同？试分析影响全息光栅质量的因素？

全息光栅与刻画光栅的主要区别在于它们的制作原理和结构形态。

刻画光栅是通过机械或化学的方式在一个基板上刻出均匀的凹槽形成的，其沟槽通常是平行的。

而全息光栅则是通过干涉技术将光波的振幅和相位信息记录在记录介质上形成的，其沟槽可以是均匀分布的，也可以是特别设计的不均匀分布。

影响全息光栅质量的主要因素：干涉条纹的质量，包括环境杂散光、光学系统成像质量、干涉光是否严格相干等。

2. 为什么系统调整时要使两相干光光程尽量相近以及光束比接近？

光程相近的目的是为了保持两光相位关系稳定，保证干涉条纹稳定且不缺级。

光束比比较接近是为了避免强度不均导致的干涉畸变，同时保证背景光和物体光的亮度，既能看清物体，又能保证一定的干涉稳定，从而提高物体成像质量。

七 讨论、心得

本次实验较为顺利，就是一开始因激光器松动产生了一些问题。在开始实验前应该检查仪器是否松动，特别是对于对精细度要求高的实验。