

实验题目：全息照相

一、实验目的：

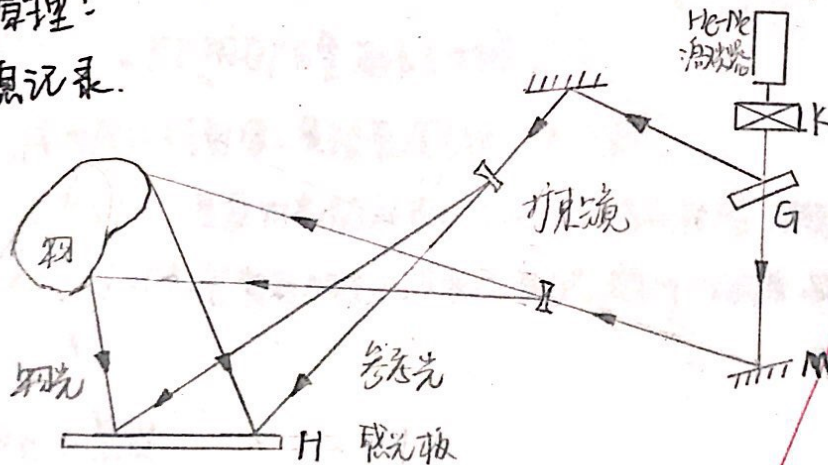
1. 了解全息照相基本原理。
2. 学习拍摄全息照相照片和观察再现图像的方法。

二、实验仪器：

防震光学平台，氦氖激光器，曝光定时器及快门，打靶透镜(两个)，分束器，反射镜(两个)，分息工型干板，D19显影液和F5定影液及暗房设备。

三、实验原理：

1. 全息记录。



全息照相的光路如上图。

普通照相只反映了像与物的各点间光强(振幅)分布的对应关系，缺少光波的相位信息，因此只是二维。而全息照相是建立在波动光学的干涉和衍射规律的基础上，不仅记录光强分布的对应关系，而且记录了相位变化的信息，因此可以再现出原物的三维图像。

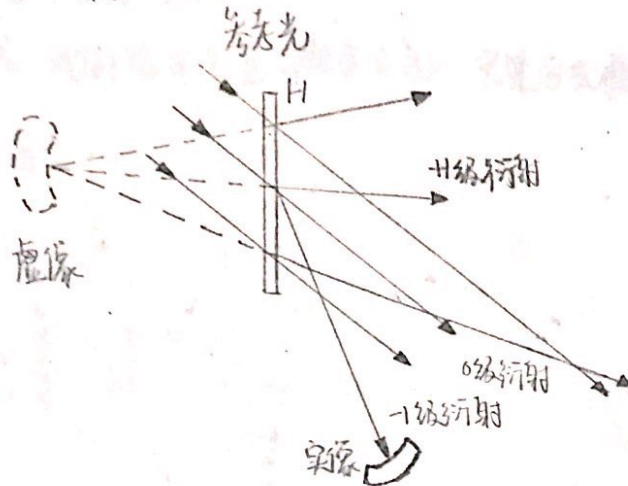
上图中，物体上漫反射的物光波，其振幅和相位受到物体的调制。但相位信息不能直接被感光板记录，而是通过与参考光的干涉，记录在H上。因为干涉条纹中包含着待摄物体光波的振幅和相位的全部信息，所以经过显影、定影处理

天津大学物理实验报告

附 页

全息照相作全息图。

2. 物光经透镜再现。



全息图如同一块复用的光栅。如果用原参考光作照明灯，以原角度照明全息图在另一侧迎着衍射光观察，在0级衍射光的方向，必然出现0级衍射。此光束有相当于原物体位置聚成一个虚像，就是从拍摄物体发出的波阵面，可称为物光经透镜的再现，这就是全息照相获得的非常逼真的立体像。另一个一级衍射，在全息图上会聚成实像，称作实像。

3. 全息记录与再现的数学表达式

设 xy 平面为全息感光板平面，物光和参考光在此平面的光场分布分别表示为：

$$O(x,y) = A_O(x,y)e^{-i\varphi_O(x,y)} \quad (1)$$

$$R(x,y) = A_R(x,y)e^{-i\varphi_R(x,y)} \quad (2)$$

光强分布为 $I(x,y)$ ，有：

$$I = (O+R)(O^*+R^*) = A_O^2 + A_R^2 + 2A_OA_R \cos(\varphi_O - \varphi_R) \quad (3)$$

$$= I_O + I_R + O\bar{R} + \bar{O}R$$

照相材料的感光特性曲线存在一个大致用线性范围。若曝光量 $E(x,y)$ 在此范围内变化，则全息图的振幅透射率：

$$T(x,y) = T_0 + \beta E(x,y) \quad (4)$$

式中， T_0 为未曝光部分的透射率， β 是取决于干板感光特性和显影过程的一个常量。

实验题目: 全息照相

曝光量为 $E = It$, 代入(14)式, 得

$$T(x, y) = I_0 + \beta t I(x, y) = I_0 + \beta t (I_0 + I_R + OR^* + O^* R) \quad (15)$$

这就是全息图的透射率分布函数。

在使用与原参考光相同的光波 R 从适当方向照射全息图的时候 $I = I_R$ 。

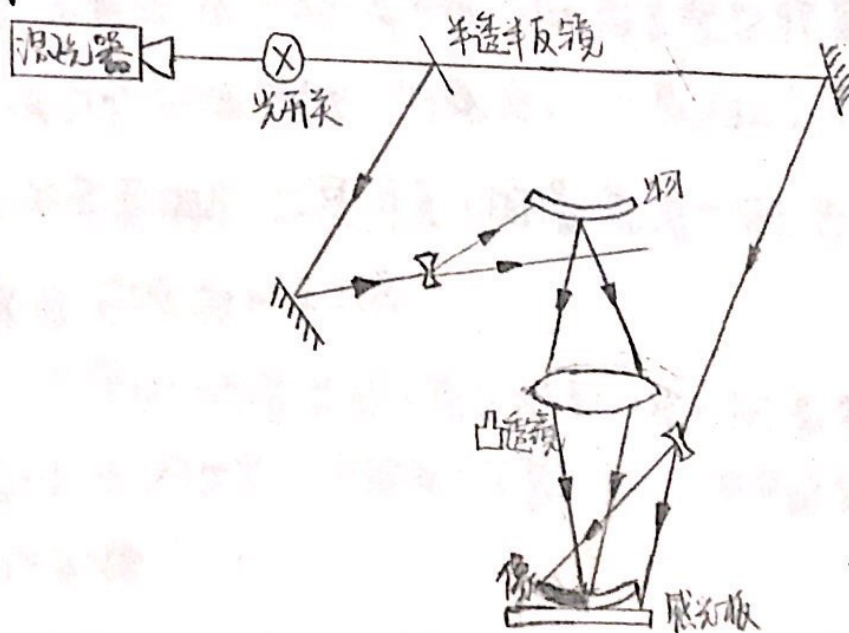
$$\begin{aligned} I' &= I_0 R + \beta t (I_0 + I_R + OR^* + O^* R) R \\ &= [I_0 + \beta t (I_0 + I_R)] R + \beta t I_R O + \beta t R R O^* \end{aligned} \quad (16)$$

这里透射光波 I' 用每个量都表示一个衍射级

- ① 第一项为零级衍射级, 是衰减了的再现光。
- ② 第二项 $\beta t I_R O$ 是原物光的再现, 仍按原物光方向传播, 属于一级衍射光。
- ③ 第三项 $\beta t R R O^*$, 它载有物光的共轭光波 O^* , 是另一个一级衍射光, 与原物光相位相反。

4. 白光再现全息图

1. 像平面全息图



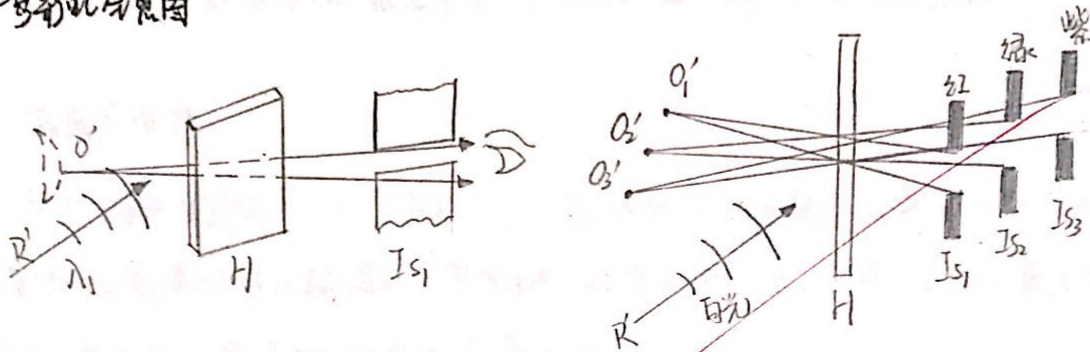
天津大学物理实验报告

附 页

因白光相干长度很短以及衍射光方向随波长变化决定了再现像点的位置也随波长而变化，所以在一般全息图不能用白光再现。

但若用上图光路，此时像的位置不随波长变化，只是因光源方向不同，像的颜色会有变化。

2) 多彩虹全息图



彩虹全息图实质上是一种像面全息图，不同的是在拍摄时要在物和干板之间加个狭缝，并且透镜成的实像可以离开干板一段距离，所以立体效果要强一些。

如左图，观察者既能见到物体又能见到虚像 IS 。最佳观察位置是瞳孔恰好落在 IS 处。如右图，白光被全息图衍射后即形成一系列从红到紫连续排列的彩色图像，称为彩虹全息图。当观察者的瞳孔对准某一狭缝像只能看到一个单色像，所以狭缝起了滤波器的作用，有了彩虹全息图才可用白光再现。但因视角受限，狭缝又只允许一定范围的物光通过，所以再现像只保留了沿缝方向的透视效果。

四、实验内容及步骤：

1. 参照实验原理光路图布置光路

中使各光学器件中心等高，物光和参考光的光程大致相等，光程差控制在 3cm 以内。这一过程可以通过一根卷尺来测量并控制。

2) 照射于感光板上的物光与参考光之间的夹角可在 $20^\circ - 45^\circ$ 范围内选择，实验时选择 30° 附近。

3) 照射到全息干板上的物光和参考光光强相差不要太悬殊。为了比较，可以在干板架上置一白屏，并调节白屏的距离，使两路光强尽量达到 $1:4$ 左右。

实验题目：全息照相

一、曝光和冲洗：

1) 接通曝光定时器，选定曝光时间 20 秒左右。

2) 在黑暗中把全息干板夹在干板架上（以感光乳剂面朝向待摄物体），接通曝光器电源，等待老师命令。

3) 全体同学一同按下按钮，开始曝光。

4) 待曝光结束，把感光后的干板放在显影液中显影 2-3 min，再放入停显液中约 70s（或用清水漂一漂），然后定影 5 min。

二、观察再现现象

让再现光以原参考光束对于干板的方向射向全息图，从它的背面观察，在原物所在方位即发生波前再现，可见一个三维虚像。

三、实验结果分析与讨论

实验观察后，显出的像比较“清晰”，可以看出整体轮廓以及一些细微的侧面。但和“非常清晰”的组相比，问题有 2：一是看上去小兔子离感光板较远，导致像不是非常清晰。二是小兔子的像亮度不够，也看上去难以达到最佳水平。究其原因可能有以下几点：

1. 实验布置光路图时明显发现最后投射到屏幕上的参考光较弱，没有达到参考光=1:4 的要求，可能是 1:6 甚至更大，这可能是光路布置的位置不太恰当，比如打束镜。

2. 与感光板的距离有可能太远，也会导致物光较弱。

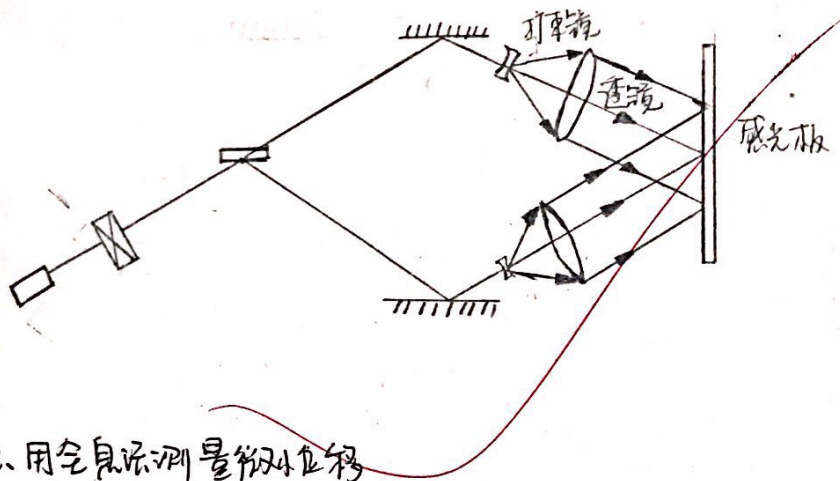
天津大学物理实验报告

附 页

- 实验注意事项:
1. 实验的反相机要调好感光板H靠前
 2. 镜头与光源夹角在 30° 左右
 3. 光源一旦布置完成, 避免挤压桌面甚至触动器材.
 4. 安装好感光干板后 不可以再打开光源, 如手机等.

六. 全息图设计:

1. 全息图的制作: 在全息干板上记录两列有一定夹角的平面波的干涉条纹, 经显影、定影等处理后就得到全息光栅. 通常在 1cm 内刻有成千上万条透光狭缝. 相当于多光束干涉, 光栅形成时光谱线尖锐、明亮.



2. 用全息图测量微小位移

利用全息图的可多重记录的特点用两参考光, 在同一张全息干板上对被测物体位移前后进行两次曝光, 这样同一张干板上就能记录物体位移前后的全部信息. 当干板经显影、定影处理后, 在原参考光下还原时, 由于位移前后两物光光波有一定相位差异, 故在相位处会形成干涉条纹. 利用干涉条纹即可计算出物体的位移量.

物光光程: 137cm

参考光光程: 137cm

拍摄物体: 小兔子

曝光时间: 20s

全息图清晰程度: 清晰