

# 实验三十四 全息照相

罗俊熙\*

北京大学物理学院 学号: 2000012508

**摘 要:** 全息照相 (Holography) 是能够把来自物体的光波波阵面的振幅和相位的信息记录下来，又能在需要时再现出这种光波的一种技术。这次实验将体验全息片的制作，并尝试用其再现出像。

**关 键 字:** 全息术

April 18, 2022

---

\*Email: 2000012508@stu.pku.edu.cn

## I. 实验概要

### A. 实验目的

1. 了解全息照相的基本原理；
2. 学习全息照相的实验技术，拍摄合格的全息图；
3. 了解摄影暗室技术。

### B. 实验仪器

1. 光学平台、扩束透镜、反射镜和分束器、被摄物；
2. 氦氖激光器及电源、快门；
3. 暗室技术使用的设备。

### C. 实验原理

在全息照相中，总共有两列波发生干涉：参考光与物体表面反射的光。对于参考光，可以选择平行光或球面光。在本次实验中，我们使用的是发散球面光作为参考光。

在实验中获得的屏函数可以表现为一下线性形式：

$$\begin{aligned} t_H &= t_0 + \beta I_H, I_H = (O + R)(O^* + R^*) \\ t_H &= t_0 + \beta(|O|^2 + |R|^2) + \beta RO^* + \beta R^* O \end{aligned}$$

其中  $R$  是参考光波前， $O$  是物光波前。

可以看到，在再现时会有三束透射光，三束透射光的屏函数分别记为：

$$\begin{cases} T_1 &= t_0 + \beta(|O|^2 + |R|^2) \\ T_2 &= \beta R^* O \\ T_3 &= \beta RO^* \end{cases}$$

在实验中， $T_1$  代表的是衍射光的背景光，在实验中通常表现为比较微弱的散射光，所以在处理时会把它忽略掉。利用不同的再现光照射，可以得到不同的光学变换与不同性质的再现像。

## II. 实验记录

### A. 再现光路

在本次实验，物体光程为 97 cm，参考光程为 100 cm。两者差距约为 3 cm，曝光时间为 3.5 s。光路如图1a所示。

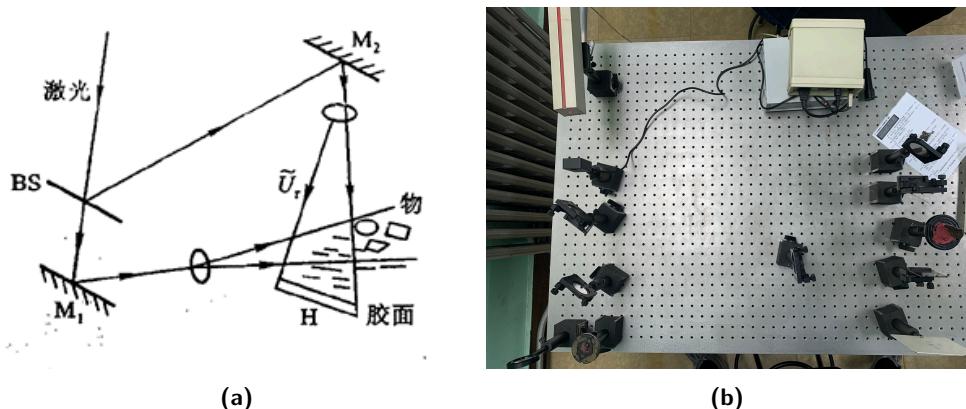


图 1: 记录光路 (a) 示意图; (b) 实际图。

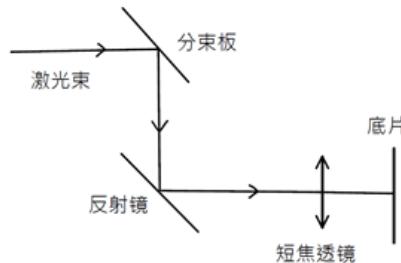


图 2: 再现光路示意图

### B. 原位观察虚像

1. 像处于原物的位置，大小与原物等大，是正立虚像。

**分析：**由于再现光就是当时的参考光，参考光与再现光之间的相位被消掉，所以把当时记录的物光完整的复现出来，但由于有  $\beta$  的作用，光强会发生改变。

2. 从底片不同的角度位置观察，像的性质、大小与位置均不发生改变。

分析：由于只是把当时记录的物光完整的复现出来，没有相位的作用，只有光强的变化。

3. 旋转底片，改变入射角，可以看到像发生了偏离。

**分析：**这个时候再现光与参考光之间有了一个固定的相位差，形式为  $e^{ik\varphi}$ ，作用等效于一个薄棱镜。所以看到的效果相当于像有了一个偏离。

4. 改变底片与光源之间的距离，当距离变大时，像的横向放大率变大；当距离变小时，像的横向放大率变小。

**分析：**可以近似认为是傍轴球面波，参考光与再现光两个二次相因子，等效成  $\frac{1}{f} = \frac{1}{z} - \frac{1}{z'}$ ，也就是一个透镜。其中  $z$  是光源与底片之间的距离， $z'$  是虚像与底片的距离， $f$  是底片的等效焦距。当  $z$  增大时， $z'$  也会增大，在保持成虚像的前提下，物的横向放大率会变大。反之亦然。

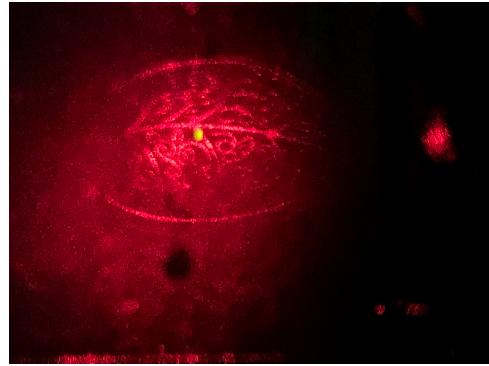


图 3: 原位再现的像

### C. 观察-1 级衍射像

在上一个实验中，我们观察到的是 +1 级的衍射像，其代表的屏函数是。

$$T_2 = \beta R^* O$$

对于-1 级衍射像，代表的屏函数是

$$T_3 = \beta R O^*$$

其中  $O^*$  代表的是物光的共轭光，由于在本次实验中使用的参考光是一个球面光，所以所成的像可以是实像或虚像。但这个是有前提的，就是底板的乳胶层是无限薄的，也就是说参考光与物光之间的夹角很小。但当夹角比较大的时候，比如在本次实验中夹角约为  $30^\circ$ ，乳胶层的厚度就已经不能忽略了。在本次实验中全息图是具有立体结构，相当于一个布拉格衍射。这个导致了只有在一定角度，也就是满足布拉格方程时，才会有比较明亮的重现像，同时使得  $\pm 1$  级的像不会同时出现，因为在观察到-1 级衍射像的前提下，+1 级的衍射像方向不满足布拉格方程。在本次实验中，并没有观察到 +1 级衍射像。

### D. 底片反转 $180^\circ$ ，利用共轭光观察

可以观察到 1 个实像，但其位置十分之难找出。原因可能是因为在记录时物光的散射太弱了，导致在使用会聚球面波重现时实像比较弱，需要在特别的位置进行阻挡才出现较好看的实像。



图 4: 反转后再现的像

### E. 利用激光直接照射重现观察

在本次实验中，使用肉眼可以观察到一个模糊的实像，光屏也存在一个实像，在本次实验观察到肉眼的距离是 157.6 cm，到底片的距离是 127.6 cm。

分析：利用激光器直接照射，相当于一个平行光

$$R' = A$$

由于记录时的参考光是一个发散球面光，其中的二次相因子作用相当于一个透镜，在透镜的作用下生成了一个实像。在本次实验由于使用的激光光强比使用的汇聚球面光要强，所以成的像更容易被观察到。

### F. 感想

在本次实验，除了动手验证了当时在光学课上学到的全息术以外，还接触到了暗室成像技术。加深了对相关知识的理解，同时开阔了知识面。感谢杨景老师的指导，并检查了实验中的数据。