

预习报告		实验记录与分析		总成绩	
30		50		80	

年级、专业：	物理学	组号：	实验班 2
姓名：	戴鹏辉	学号：	2344016
日期：	2024/03/17	教师签名：	

全息照相实验

【实验报告注意事项】

1. 实验报告由两部分组成：

1) 预习报告：课前认真研读实验讲义，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用、完成课前预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（可以参考实验报告模板，可以打印）。（30 分）

2) 实验记录与分析：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（用铅笔记录的被认为无效）。保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。（不得手记的值输入到电脑打印）；离开前请实验教师检查记录并签名。（50 分）
2. 本实验报告可提前打印出来，当场记录分析完成交给带实验的老师，课后无需再提交。若当场完成不了，则请课后完成，再扫描并通过 seelight 提交。

注意：本文档已留出填写空间，若填写空间不够的话请提前规划留白，做到报告的美观
3. 注意事项：

1) 实验中避免激光器伤到眼睛

2) 避免用手直接接触镜片的光学面

3) 安装镜片时需 在光学平台上尽量靠近台面 的高度操作，以免失手跌落摔碎镜片

4) 实验平台配件所用固定螺钉需拧紧，以免镜架晃动；但不可过紧，以免损坏

5) 实验前需按仪器清单检查光学元件是否齐全，实验结束后按照顺序放回元件盒

目录

1 全息照相实验 预习报告 3

1.1 实验目的 3

1.2 仪器用具 3

1.3 原理概述 3

1.4 实验前思考题 5

2 全息照相实验 实验记录 7

2.1 实验内容、步骤、结果及讨论 7

2.2 实验过程中遇到的问题记录 10

# 全息照相实验 预习报告

## 1.1 实验目的

- (1) 学习全息照相的基本原理和方法；
- (2) 了解全息照相的主要特点；
- (3) 学习全息照片的制作方法和技术；
- (4) 学习观察全息照片的方法。

## 1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	防震光学平台	1	
2	氦氖激光器	1	
3	扩束透镜	1	
4	分束器	1	
5	反射镜	3	
6	全息干版	1	
7	显影液	1	
8	定影液	1	
9	暗房设备	1	

## 1.3 原理概述

全息照相是一种不用透镜而能记录和再现物体的三维 (立体) 图象的照相方法，能够把来自物体的光波波前的振幅和相位信息完整记录下来，并能够完整的再现出物体的三维图像。在实验应力分析、图象识别和无损检验、照相领域等具有广泛应用。

### (1) 全息照相的特点：

全息照相与普通照相原理有本质差别。普通照相利用透镜将物体成像在平面上，记录各点的光强或振幅分布，但仅为二维像。全息照相则利用光的干涉、衍射等规律，记录物光波的振幅与位相的全部信息，得到细密干涉条纹，称为全息图。全息照片具有以下特点：

- 重建物光波与原物光波具有相同的深度和视差，观察位置变化可看到景物被遮拦的物体，需要重新调焦；
- 每小块全息照片都可再现整个图像，因每点包含整个图像信息，但随小块减小，分辨率逐渐变差；
- 可用接触法复制，无正负片之分，且再现影像的反差接近原物体；
- 绕不同轴线转动全息照片产生不同效果；
- 连续曝光可重叠几个影像，每个影像单独显现。

## (2) 物理原理

全息照相是一种使用相干光源进行的两步光学成像过程，在第一步中，参考光和物光在记录介质上形成复杂的干涉图样，称为全息图；在第二步中，通过适当的照明，从全息图中再现出物体通常的图像。全息照相的基本理论实质上是一种较为广义的双光束干涉场的计算。使用激光器发出的相干光经过分束器分为两束，一束照明物体成为景物光，另一束作为参考光。这两束光以一定的夹角入射到记录介质上相互干涉，形成全息图。由于记录介质只能记录振幅，可见物波的位相记录也是利用干涉的原理转换成相应的振幅关系加以记录的。

i. 全息照相记录的信号设  $O$  和  $R$  分别为物光和参考光

$$\begin{cases} O(r, t) = A_O(r) e^{i(\phi_O - \omega t)} \\ R(r, t) = A_R(r) e^{i(\phi_R - \omega t)} \end{cases}$$

则光强度为：

$$I(r, t) = (O + R)^2 = |O|^2 + |R|^2 + 2|O||R| \cos(\phi_O - \phi_R)$$

由于做全息照相时，总是尽量让参考光和物光各自在记录介质上的照度均匀，所以这里主要关注相干项。

干涉项产生的是明暗以  $(\phi_O - \phi_R)$  为变量按余弦规律变化的干涉条纹并被记录介质记录下来。由于这些干涉条纹在记录介质上各点的强度决定于物光波（以及参考光波）在各点的振幅和相位，因此记录介质上就保留了物光波的振幅和相位信息。

ii. 波前重现设全息底片工作于线性区，则经显影、定影等处理后，其振幅透过率与曝光强度成正比：

$$\tau(x, y) = \tau_0 + \beta I(x, y) = \tau_0 + \beta [ |O|^2 + |R|^2 + R^* |O| + R |O|^* ] \quad (\beta < 0)$$

当用原参考光重现时，其透射光场为：

$$A_{rec}(r, t) = R(r, t) \tau(r) = R \left[ \tau_0 + \beta (|O|^2 + |R|^2) \right] + \beta R R^* O + \beta R^2 O$$

当用共轭参考光重现时，其透射光场为：

$$A_{rec}(r, t) = R^*(r, t) \tau(r) = R^* \left[ \tau_0 + \beta (|O|^2 + |R|^2) \right] + \beta (R^*)^2 O + \beta |R|^2 O^*$$

说明：前面两个公式表现出曝光时的入场光场和显影后的透射光场之间的高度非线性关系，似乎线性系统对全息照相理论不起作用。但是从物光场  $O(x, y)$  到透射光场分量  $E_\epsilon = \beta |R|^2 O$  或  $E'_\epsilon = \beta |R|^2 O^*$  的变换确实完全线性的。



图 1: 全息图的波前重建

### (3) 实验条件

对稳定性的要求:

- 干涉条纹非常细密，极小的扰动会导致干涉模糊，甚至无法记录下来。
- 景物在曝光时间内移动  $\lambda/8$  就足以使干涉条纹模糊不清，因此曝光期间，元件之间的相对位移应小于条纹间距的几分之一。
- 空气、声波和温度的变化会引起元件的震动或空气密度不均匀，需避免大声喧哗、敲门、吹风等，更不能碰到防震台。
- 缩短曝光时间有利于减少外界震动的影响，但受光源强度和底片灵敏度限制。

对光源相干性的要求:

- 参考光束与物光束必须是相干的，使用  $He - Ne$  激光器等相干光源。
- 激光器的谱线有一定宽度，考虑多普勒展宽等因素，相干长度应足够长。
- 参考光路与物光路的光程应接近相等，被摄景物的景深应在相干长度之内。
- 选用单横模 (TEM00) 的激光器，景物的大小应在空间相干的范围内。

这些要求保证了全息照相的稳定性和记录质量。

## 1.4 实验前思考题

**思考题 1.1:** 实验中应该注意哪些影响因素才能够保证成功观察到全息再现图像？

- 稳定性要求:** 全息照片制备过程中，曝光期间元件之间的相对位移应小于干涉条纹间距的几分之一，以避免干涉条纹模糊不清。避免外界因素（如空气、声波、温度变化）对元件的震动或空气密度不均匀，需避免大声喧哗、敲门、吹风等，更不能碰到防震台。
- 光源相干性要求:** 参考光束与物光束必须是相干的，使用  $He-Ne$  激光器等相干光源。参考光路与物光路的光程应接近相等，被摄景物的景深应在相干长度之内。
- 曝光时间和光源强度:** 缩短曝光时间有利于减少外界震动的影响，但受光源强度和底片灵敏度限制。光源强度应足够，以保证充分的曝光。

- iv. **干涉条纹清晰度:** 景物在曝光时间内移动  $\lambda/8$  就足以使干涉条纹模糊不清, 因此曝光期间, 应保持元件稳定不动。
- v. **实验环境:** 实验室环境应保持安静, 避免震动和空气流动对实验造成影响。应该在光学平台上进行实验, 以减少振动和移动。
- vi. **底片和显影过程:** 底片的选择和显影过程也会影响全息再现图像的质量, 需要按照标准操作程序进行处理。

综上所述, 保证实验环境稳定、光源相干性良好、曝光时间合适以及注意底片和显影过程等因素都是保证成功观察到全息再现图像的关键。

**思考题 1.2:** 物光和参考光的光程差应保持在什么范围? 为什么?

在全息照相中, 物光和参考光的光程差对干涉条纹的质量有着直接影响。当两束光波在全息底片上相遇并叠加时, 如果它们的光程相等或非常接近, 就能够会产生稳定的干涉图案。这是因为光波的相位关系保持一致, 从而形成清晰的干涉条纹。

干涉条纹的清晰度对全息图的质量至关重要。如果光程差过大, 超过了激光的相干长度, 两束光波的相位就会失去同步, 导致干涉条纹模糊或完全消失。

为了确保高质量的干涉条纹, 物光和参考光的光程差应控制在激光的相干长度范围内, 这样可以保证两束光在全息底片上产生高对比度和清晰度的干涉条纹, 从而生成高质量的全息图。

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	22344016
室温：		实验地点：	
学生签名：		评分：	
日期：		教师签名：	

全息照相实验    实验记录

2.1 实验内容、步骤、结果及讨论

（按照实验顺序依次简要记录实验内容及步骤，）（空间不够，可自行加页）

（注意：

除了记录实验内容、步骤、参数外，还应记录：

按比例绘制操作中实际摆放的实验光路 (各元件间距离可通过直尺测量)

记录光路中物光和参考光的光程差

记录物光和参考光光强比

记录是否可观察到再现图像

)







## 2.2 实验过程中遇到的问题记录

(1)

(2)

(3)