

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2015.4.22 学号 3013204264 同组实验者 谷雨

实验题目:

全息照相

一. 实验目的

1. 全息图的记录和再现三维景象的基本原理.
2. 拍摄全息图的技术要求和有关注意事项.

二. 实验仪器

防震光学平台、氦氖激光器、曝光定时器及快门、打束透镜(两个)、分束镜、反射镜(两个)、全息I型干版、D19显影液和F5定影液及暗房设备.

三. 实验原理

1. 全息记录

普通照相建立在几何光学透镜成像的基础上,它只反映了像与物的各点具有光强(振幅)分布的对应关系,而缺少光波的相位信息,因此它只是一个二维平面图像.全息照像是建立在波动光学干涉和衍射规律的基础上,它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.

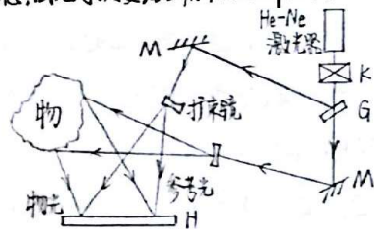


图1. 全息照相光路

全息照相的光路如图1所示. 氦氖激光经分束镜G、反射镜M和打束镜之后, 一路成为参考光, 另一路被物体漫反射成为物光, 二者照于感光板H上叠加产生干涉图. 从物体上漫射的物光波, 其振

幅和相位受到物体的限制, 振幅给出物体亮度的信息, 相位给出物体位置和深度的信

天津大学物理实验报告

附 页

息. 但相位信息不能直接被感光板H记录, 而是通过与参考光的干涉, 才把物光波阵面上各点的振幅和相位转换成空间上变化的强度分布, 记录在感光板上. 因为干涉条纹中包含着被摄物体光波振幅和相位的全部信息, 所以经过显影、定影处理的感光板叫做全息图.

2. 物光波阵面的再现

全息图如同一块复杂的光栅. 如果用原参考光做照明灯, 以原角度照射全息图, 从另一侧迎着衍射光观察, 在沿着照明光来方向传播的零级衍射光的一侧, 必然出现一级衍射(图2). 此光束在相当于原物体位置聚成一个虚像. 犹如从被摄物体发出的波阵面, 可称为物光波阵面的再现, 这就是全息照相获得的非像逼真的立体像. 另一级衍射, 在全息图后会聚成实像, 称作共轭像.

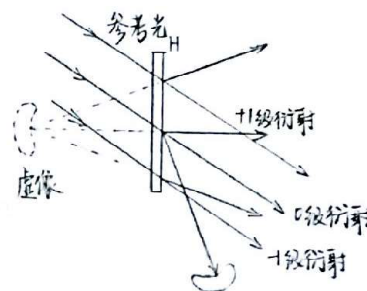


图2. 用全息图再现物体光波

3. 全息记录与再现的数学表达

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

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

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

两式用复振幅同时表达了物光和参考光的幅度和相位的分布, 而感光板平面上的总复振幅分布为 $O+R$. 感光板上的光强分布若省略 (x, y) , 有

$$I = (O + R)(O^* + R^*) = I_O + I_R + O R^* + O^* R = A^2 + A_R^2 + 2A_O A_R \cos(\varphi_O - \varphi_R)$$

式中: R^* 和 O^* 分别为 R 和 O 的共轭复数.

照相材料的感光特性曲线图存在一个线性的范围. 如果使曝光量 $E(x, y)$ 在此范围内变化, 则全息图的振幅透射率

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 可青 成绩

实验日期: 2015.4.22 学号 2013204264 同组实验者 谷雨

实验题目:

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

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

曝光量等于光强与曝光时间的乘积, 即 $E = It$, 代入

$$T(x,y) = T_0 + \beta It(x,y)$$

$$= T_0 + \beta t(I_0 + I_R + O_R^* + O^* R)$$

这就是全息图的透射率分布函数。

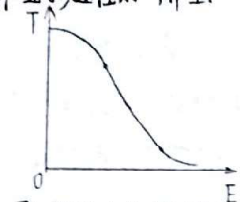


图3. 折射率T与曝光量E关系曲线。

在使用与原参考光相同的光速 R 从适当方向照射全息图的时候, $T' = TR$, 将上式代入得

$$T' = T_0 R + \beta t(I_0 + I_R + O_R^* + O^* R)R = [T_0 + \beta t(I_0 + I_R)]R + \beta t I_R O^* + \beta t R O^*$$

这里透射光 T' 的每个分量都表示一个衍射级。

第一项为透射衍射波, 是衰减了的再现 R 光。

第二项是物光复振幅 O 乘以常量 $\beta t I_R$ ($I_R = R R^*$), 正是原始物光的再现, 仍按原物光方向传播 (是按一定比例重建的物光, 所以再现光 I_R 越强, 再现像就越明亮), 相当于一级衍射光。它是发散的, 其延长线会聚于物体原来位置上, 为虚像。

第三项 $\beta t R O^*$, 即 $\beta t A R A^* e^{-i(\phi_R - \phi_O)}$, 它载有物光的共轭光波 O^* , 是另一个一级衍射。与物光的相位相反, 在两倍于参考光偏角的方向上会聚成共轭实像。

从以上分析并结合实际观察可见, 全息照相除了具有逼真的三维立体感、全面的视差特性、景深范围较大、成像亮度可调的特点以外, 还能够以局部全息图再现全部物像。并且可以在同一张干板上变换角度拍摄不同的景物, 再转动全息图, 从不同的角度顺序观察互不重叠的各幅物像。

天津大学物理实验报告

附 页

4. 白光再现全息图

(1) 像平面全息图, 一般全息图可认为是大量基元全息图的叠加, 是一种复杂的光栅结构, 在液前再现过程中, 因为白光波长很短, 以

及衍射方向随波长变化决定了再现像点。

的位置也随波长而变化, 所以不能用白光

再现。如图4所示, 若用一个凸透镜使物

成像在全息干板上, 同时配合参考光制

成像平面全息图之后, 即可用白光照明观察

再现的像。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。这种全息图虽然再现像立体效果不佳, 但在信息处理技术上仍有应用价值。

(2) 一步彩虹全息图, 彩虹全息图实质上也是一种像面全息图。不同的是拍摄一步彩虹全息图时要在物和干版之间加一个狭缝, 并且透镜成像(像)可以离开干版一段距离, 所以再现立体效果比像面全息图要强一些。可使狭缝紧靠透镜, 取垂直方位。缝宽没有严格限制, 可在 $0.5 \sim 8 \text{ mm}$ 之间。

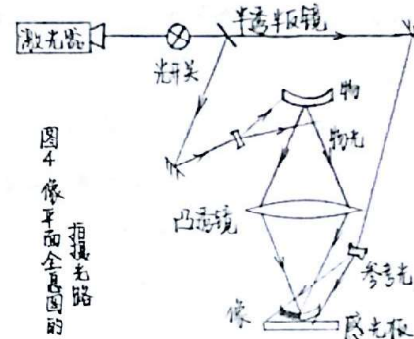


图4. 像平面全息图的拍摄光路

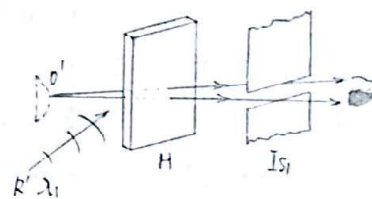


图5. 用单色光再现彩虹全息

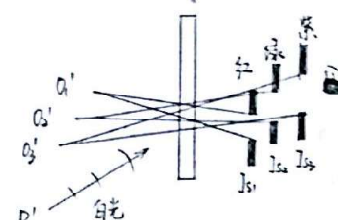


图6. 用白光再现彩虹全息

设想以波长为 λ 的再现光按记录时的参考光方向入射到全息图上 (图5), 观察者既能见到物的像又能见到狭缝的实像 I_{S1} 。看到像点 O_1' 的条件是瞳孔位于从 I_{S1} 发出的衍射光波中最佳观察位置是瞳孔恰好在 I_{S1} 处, 如偏离该点, 就偏离最佳观察位置, 视野越小。同理, 对于波长为 λ 的再现光

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2015.4.22 学号 2013204264 同组实验者 仝雨

实验题目:

则因衍射角的变化得到错开位置的像。0.1 和缝像 J₁ (图 b)。如此推了, 白光被全息图衍射后即形成一系列从红到紫连续错开排列的彩色物像和色散分立的狭缝实像。由于狭缝像限制了衍射物光的传播方向和观察范围, 观察者的瞳孔对准某一狭缝像只能看到一个单色物像, 所以狭缝起了滤波器的作用, 有了它, 彩虹全息图才可以用白光再现。但是因视角受透镜孔径限制, 狭缝又只允许一定方向和范围的物光通过, 所以再现像只保留了衍射方向的透视效果。

四. 实验步骤

1. 熟悉实验室布局和暗室设备, 了解全息干版的装夹方法, 曝光定时器和各种光学元件支架的调节和使用方法。
2. 检查全息实验台的防震性能。可以用分束器、反射镜和扩束镜等组成无补偿板的迈克耳孙干涉光路, 在保持室内安静的条件下, 屏上干涉条纹的漂移量在曝光时间内以不超过 1/4 条纹间距为限。如过大, 分析原因, 采取稳定措施。
3. 参考图 1 布置光路时做好以下调节。
 - a) 使各光学元件中心等高, 物光和参考光的光程大致相等, 光程差控制在 3cm 以内。
 - b) 投射于感光版上的物光与参考光之间的夹角可在 $20^\circ \sim 45^\circ$ 之间选择, 观察再现像, 宜尽量避开刺眼的直射强光。
 - c) 照射到全息干版上的物光和参考光强相差不要太大。因一般被摄物的漫反射率不高, 投射到 H 面上的物光就相对偏弱, 所以要选择一束比较合适的分束器, 让较强的光照在物上。为比较物光和参考光的强度, 在干版架上置一白屏, 并调节白屏的距离使

天津大学物理实验报告

附 页

二路光强尽量达到 1:4 左右。

4. 曝光和冲洗按以下步骤进行。

- a) 接通曝光定时器, 设定曝光时间。使用 1~2mW 的激光器, 预定曝光时间 13~16s。视物的大小及其反射本领酌情增减。
 - b) 在黑暗中或较远处的暗绿色安全灯下把全息干版夹在干版架上 (感光乳剂面朝物), 接入接通激光器电源, 保持齐静一两分钟后即可进行曝光。
 - c) 把感光后的干版放在显影液中显影 2~3min (显影液温度 20°C), 用清水漂一漂后, 放入定影液中, 定影 5~6min。可在暗绿灯下操作。定影后的底片在冷水中把残留药液冲洗掉再晾干。
5. 波前再现的观察。如图 3 所示, 让再现光以原参考光束对于干版的方位射向全息图, 从它的背面观察, 在原物所在方位即发生波前再现, 可见个三维虚像。试验并解释局部遮挡对成像的影响。再试以原参考光的共轭光 (会聚光或直接用扩束的激光束) 从全息图的背面入射, 在另一侧用毛玻璃或白屏寻找实像并记录其相对位置。
- <注意: 眼睛绝不可直视未扩束的激光束, 以免造成视网膜的永久损伤。>

五. 实验记录

物光光程 79cm, 参考光光程 78cm, 曝光时间 13.0s。

第 8 组实验实物为鸡。摆放实验器件时, 未将光学元件的中心调至同一高度, 光屏略高于激光束, 物光相对于参考光较暗。可能由于摆放角度的问题, 鸡尾部分没有全照上。

拍摄时需注意每一个光学元件都不能有任何微小移动或振动, 所以当光路调节稳定后, 应将每个元件固定在桌面上。任何轻微的振动或气流扰动, 都有可能引起光程差发生数量级的变化, 从而使条纹模糊不清。因此要求整个拍摄过程中保持实验室内绝对的安静, 不能走动、讲话。曝光时间及冲洗时间也要把握好, 时间太短, 显影不清晰, 时

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 4 班 姓名 何青 成绩 _____

实验日期: 2015.4.22 学号 2013204264 同组实验者 谷雨

实验题目:

闻太长后,底片变黑. 全过程均在黑暗环境下操作, 不能有一丝光线干扰.

遮盖部分全息照片仍能看出原被摄物的全部形象. (思考: 全息照片上每一点记录的干涉图像是由物体所漫射来的光与参考光相干涉而成的.)



() 作业纸

系别 信息 班级 通四 姓名 何青 第 页

国组实验: 谷和

物 79cm.

78cm.

曝光时间 13.05

第8组. 鸡

像较清楚. 尾部未照上

2015.4.22

2015.4.22