

全息照片的摄制

201711140236 物理系基地班 李励玮

实验仪器

防震台，激光器，电子定时器（快门），分束镜，平面反射镜 2 个，扩束透镜 2 个，载物平台，物体，全息干板架，全息干板，线，白屏等。

实验原理

全息照相技术通过物体散射光（物光）和参考光的干涉，把物光波前的振幅和相位以干涉条纹的形式记录在照相干板上，即记录了光波的全部信息，在一定条件下，能将所记录的全部信息完全再现出来。

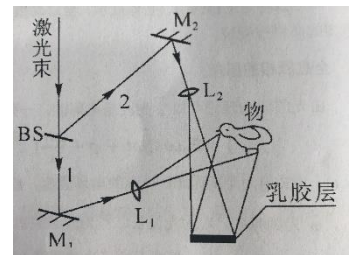
分为透射式全息和反射式全息两种：

1. 透射式

在记录全息图时，全息干板位于物光和参考光的同侧，再现像是由透过全息图的衍射光形成的，这种全息叫做透射式全息图。

点光源参考光与物光在空间相干叠加，叠加光强度极大值的轨迹为对称于点光源和物连线平分线的一簇双曲面。处于该干涉光场的全息干板上的乳胶层感光。显影后析出银颗粒，形成具有反射性能得小反射镜群。若用于点光源方向相同的光照射此全息图时，反射光的反向延长线汇聚点为物体的虚像；用方向相反的光照射时，反射光汇聚点用毛玻璃屏接收物体的实像。

实际光路图如左。半导体激光器发出激光束，通过分束镜 BS 一分为二，其中透射束经反射镜 M1 反射后，用扩束镜 L1 将光束扩大后照射到被摄物体上，经物体表面反射后照射到全息干板上，为物光；另一束光经反射镜 M2 反射、L2 扩束后，直接照射到全息干板，为参考光。为保证图像清晰，必须使两束光光程大致相等、且两束光射到干板上的夹角在 30° 左右。



复振幅表达式：

设入射光、参考光在全息干板上的电场分布为：

$$E_o(r) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{E_i}{r_i} \cos\left(\omega t + \varphi_i - \frac{2\pi r_i}{\lambda}\right) \quad E_R(r_R) = E_{R_0} \cos\left(\omega t + \varphi_{r_R} - \frac{2\pi r_R}{\lambda}\right)$$

两者相干叠加，故干板上的总光场 $E_H = E_o(r) + E_R(r_R)$ ，总光强 $I = (E_o + E_R)(E_o^* + E_R^*) = E_o E_o^* + E_R E_R^* + E_o E_R^* + E_R E_o^*$

经曝光后得干板经过线性处理（显影、定影）后，全息干板透过率函数 T 与曝光光强成线性关系，即

$$T = \alpha + \beta I_H = \alpha + \beta(E_o E_o^* + E_R E_R^* + E_o E_R^* + E_R E_o^*)$$

其中 α 、 β 是由干板性质确定的常数。

设再现光波的复振幅为 $c(x, y)$ ，从全息图透过的光的振幅为 $cT = c\alpha + c\beta(E_o^2 + E_R^2) + c\beta E_o E_R^* + c\beta E_R E_o^*$ ，其中第一第二项为常数，即直射光。第三项与 a 成正比，即与物光光波相同，称为原始像。第四项与 a 的共轭量成正比，称为共轭像，即在虚像相反的一侧形成一共轭实像。

2. 反射式

在记录全息图时，物光和参考光位于记录介质的两侧，再现像是由照明全息图的反射光形成的，这种全息叫做透射式全息图。

常见的反射全息图是白光再现全息图。光路图如左。激光经透镜 L 扩束后入射到全息干板的乳胶层，为参考光；扩束光穿过乳胶层后照射到物体上，再由物体反射到乳胶层，为物光。

物光、参考光夹角接近 180° ，发生干涉后在乳胶层内形成的感光双曲面簇基本平行于乳胶层，各面间隔近似等于 $\lambda/2$ 。教学使用的全息干板乳胶层厚度为 $6 \sim 12 \mu m$ ，由此可知在乳胶层内就有几十个反射银层，故该全息图为一三维结构的衍射物体。

由此衍射物体产生的衍射光的极大值必须满足的布拉格条件：

1) 反射镜等于入射角，即每一银层衍射极大值都沿反射方向；

2) 由相邻两反射银层反射的光的光程差必须满足 $\Delta\delta = 2d \cos i = \lambda$, d 为相邻二银层的间隔, i 为反射(入射)角。

再现时，照明白光从与参考光相同的角度 i 入射全息图，根据布拉格条件，只有波长 $\lambda = 2d \cos i$ 的光才有衍射极大值。可知此像一定是单色像。

实验内容

1. 拍摄玩偶的透射全息图

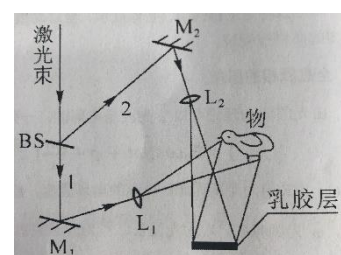
2. 冲洗底片

3. 用扩束激光再现全息像，观察玩偶的虚像，并用毛玻璃接收玩偶的实像。

预习思考题

1. 全息照相得到一个立体的单色像，而普通照相得到一歌二维的可以有不同颜色的图像。因为全息照相得到的底片具有多个银层，可以再现出被摄物不同位置的样子。

2. 光路图如右图。调节两束光光程尽量相等，最多不超过2cm；两束光夹角在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间， 30° 左右最好。照射到底片上的物体反射的物光与参考光的光强比一般要求在1:3~1:10之间。物与底片距离小于10cm。



3. 拍摄过程：注意曝光时长。

冲洗过程：在暗室进行，保持室温 20°C 。

4. 得到一个三维立体的像。

5. 可以做舞台投影、交通管理、文物展出。

6. 记录介质上的每个点的光强是参考光与到达该点的整个物光波干涉的结果，物体上各点发出的光到达感光板上的这一点，都是对这一点的光强有贡献，所以全息片任一小部分都包括整个物体的全部信息。

7. 舞台投影、交通管理、文物展出等等

课后思考题

1. 失败原因：物光没有对准物体，因此反射到屏上的物光并不是所拍摄物体的物光，而是其他物体的光，因此仅拍得几条光纹。

2. 调研全息技术的发展，或者简介全息的一个应用。

激光全息技术是 20 世纪 60 年代初兴起的一门技术。激光全息技术发展很快，已在生产和科研的许多领域中广泛应用。最先把激光全息技术应用于医学的是 Van Ugten，他于 1966 年在世界上首次摄得眼全息图，但限于当时的技术水平，再现像的分辨率较差。以后各国科学家相继开始将激光全息技术应用于医学领域，从眼科扩展至胸外科、口腔科等。二次曝光的成功，促成了全息测量技术的发展，20 世纪 70 年代出现的超声全息技术，将全息技术推进了一大步。由于超声可深入人体内部，因而超声全息可探测人体内部器官，如肠、胃、肝、胆及主胎儿等的生理异常，肢端和关节软组织的超声全息成像是极有价值的，超声全息还有希望应用于腱、肌肉和神经结构的显示。激光全息医学诊断术虽然产生的时间不长，但由于它具有种种优点，已越来越为人们所重视，并日益广泛地应用于临床。

当然全息投影可以通过图片处理与立体制作将展现 4D 的全息投影技术，将人体信息全部呈现出来，真实性更高，同时此图片可以保存，多次播放便于医生仔细观察，而且对于某些较小部位不易观察的地方可以通过放大，旋转，倒置等措施进行清晰放大，更易于观察。