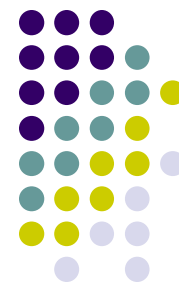


光全息术



- 普通照相记录（照片，电视，电影等）光波的强度（即振幅），将空间物体成像在一个平面上，只能看到二维图像，丢失光波的相位，丢掉了物体**纵深方向**的信息，看不到三维像。
- 记录物光波的振幅和相位，并在一定条件下再现，则可看到包含物体全部信息的三维像——全息术。

1、光全息原理



✓ 什么是全息术？

全息术（holography）是利用光的干涉和衍射原理，将携带物质信息的光波以干涉图的形式记录下来，并且在**一定的条件**下使其再现，形成原物体逼真的立体象。由于记录了物体的全部信息，**包括振幅和相位**因此称为全息术。

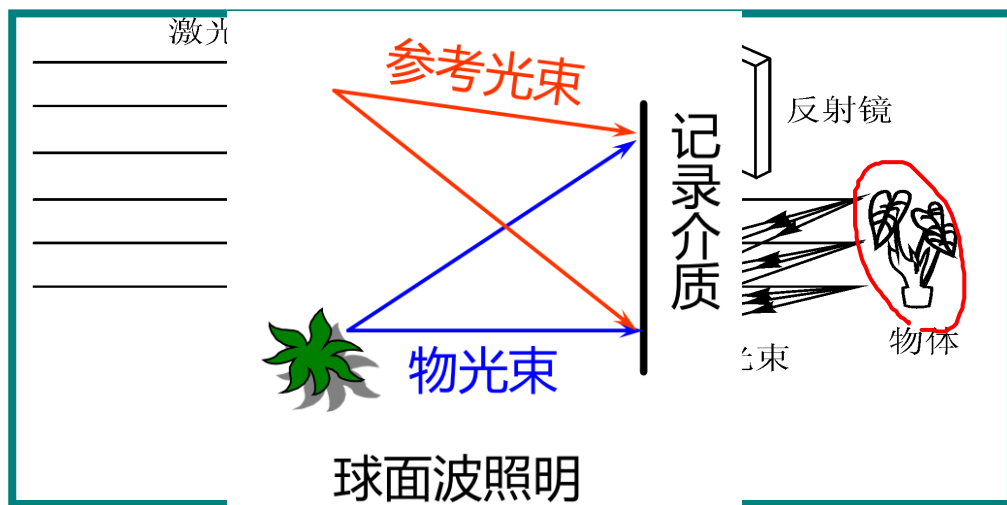
全息图（hologram）

Holo”即“完全”的意思，我国译为“全息”，意思是“全部信息”

波前再现

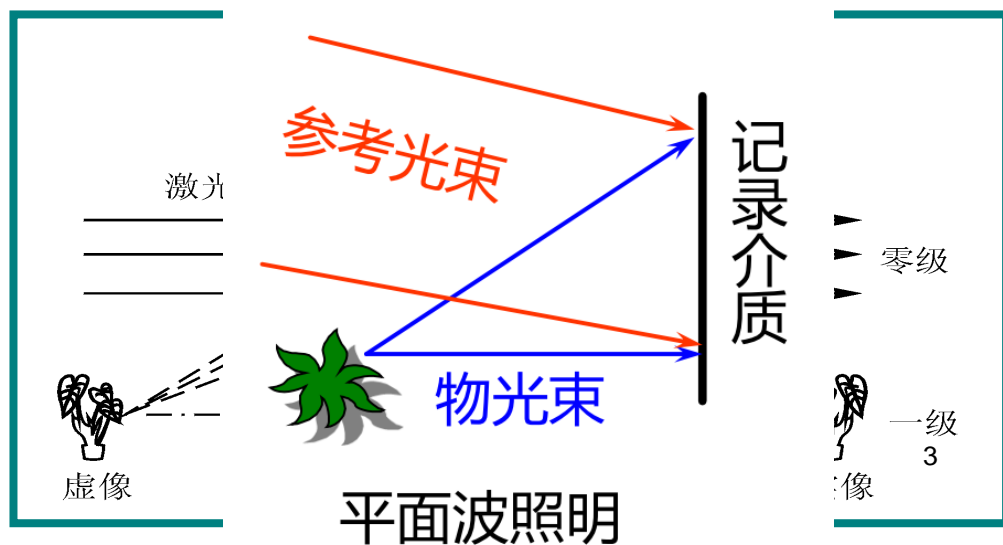
1、光全息原理

✓ 全息技术的典型代表—全息照相



波前记录—
用干涉法记录物光波

波前再现—
用衍射法再现物光波



2、波前记录与再现

✓ 物波在H上产生的复振幅分布为

$$O(x, y) = O_0(x, y) e^{-j\phi_0(x, y)}$$

引入相干参考波在H上产生的复振幅:

$$R(x, y) = R_0(x, y) e^{-j\phi_r(x, y)}$$

两波相遇叠加的总光场

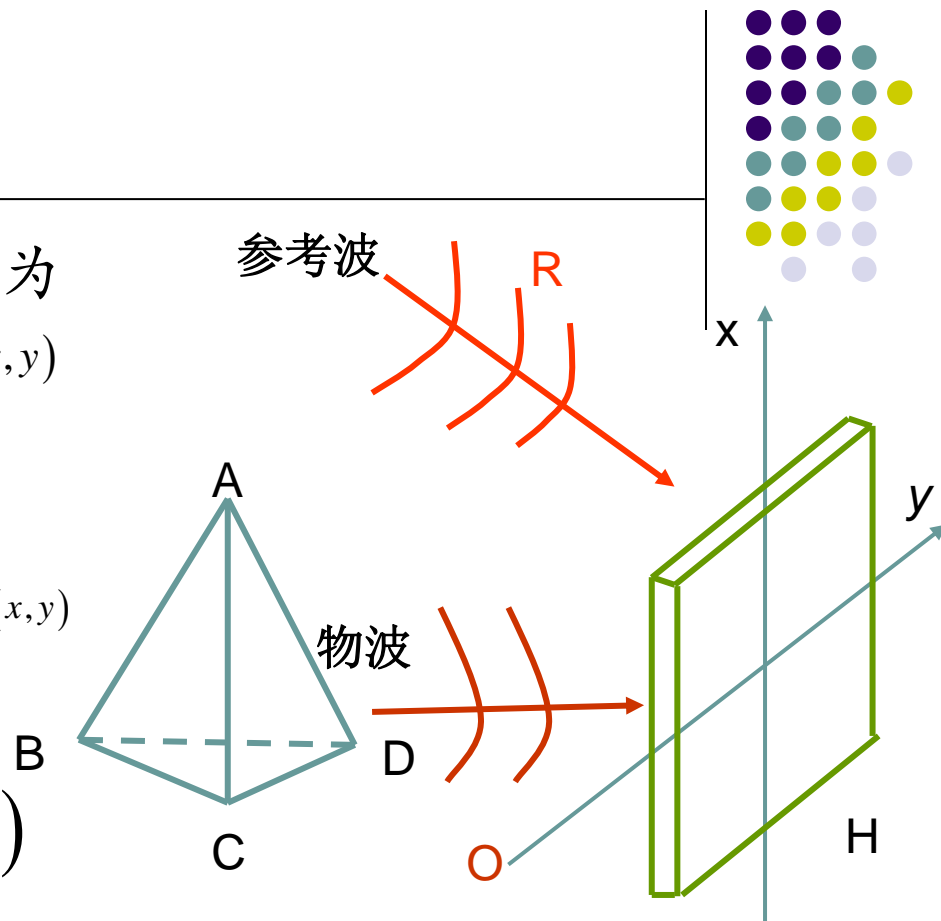
$$U(x, y) = O(x, y) + R(x, y)$$

强度为 $I(x, y) = |O(x, y)|^2 + |R(x, y)|^2 + \underbrace{O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y)}_{\text{干涉项}}$

物光和参考光的强度

$$I(x, y) = |R(x, y)|^2 + |O(x, y)|^2 + 2R_0(x, y)O_0(x, y)\cos[\underbrace{\phi_0(x, y) - \phi_r(x, y)}_{\text{干涉项}}]$$

干涉项中包含了物体光波振幅和位相信息!



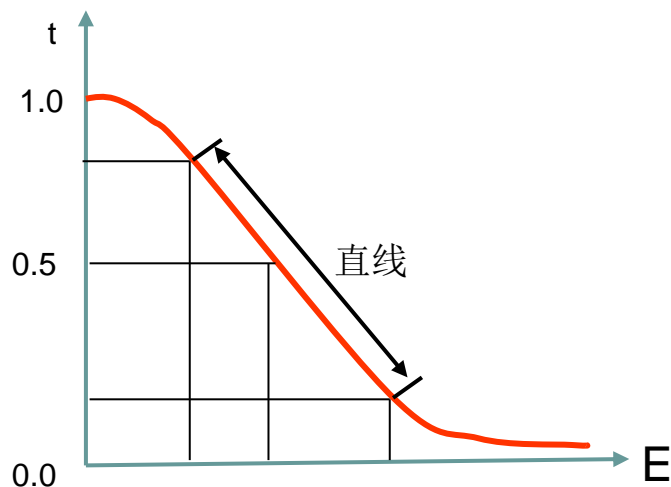
2、波前记录与再现



全息图的振幅透过率 $t(x,y)$ 与
照射光强和曝光量有关：

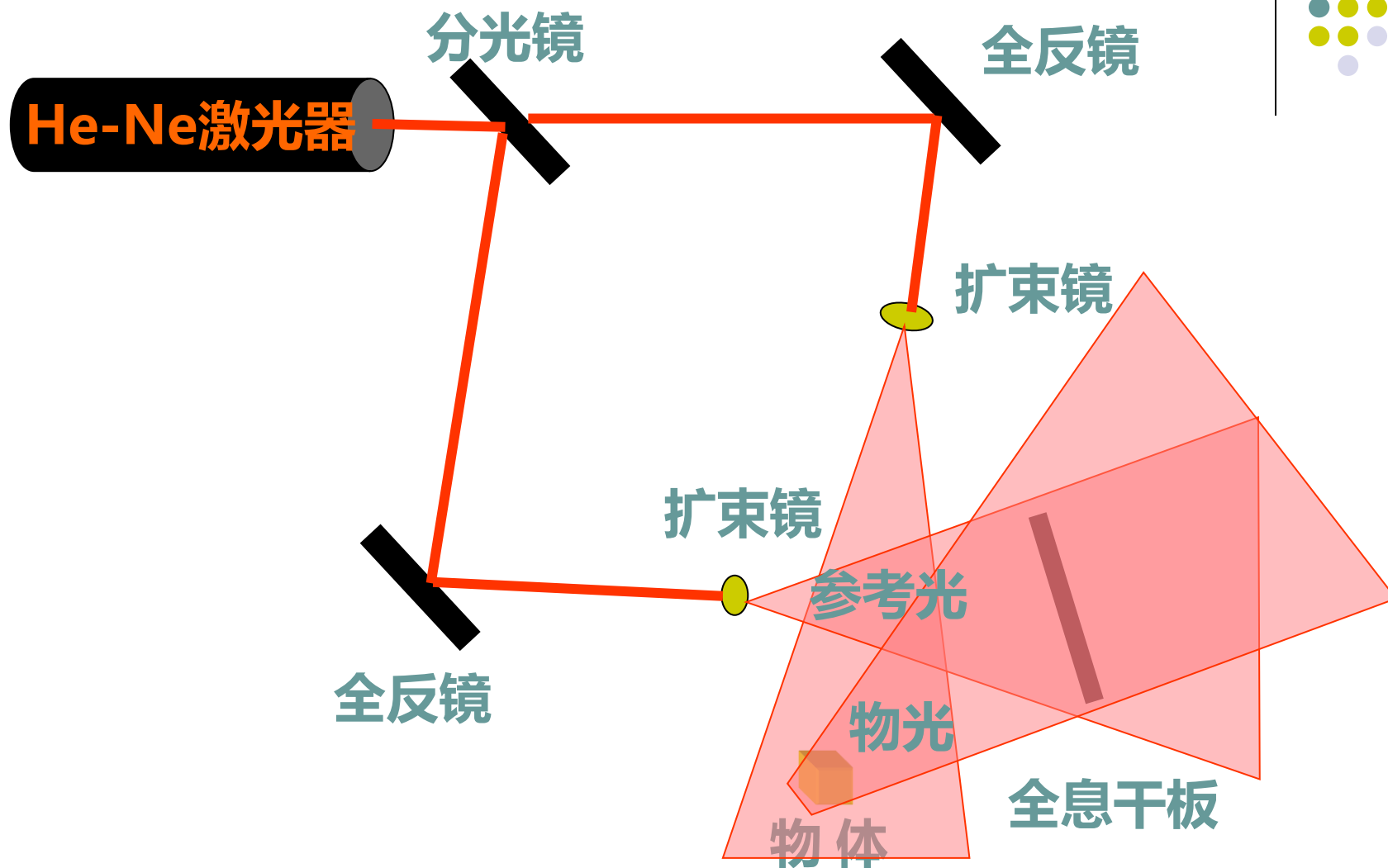
$$t(x, y) = t_0 + \beta E = t_0 + \beta [\tau I(x, y)] = t_0 + \beta' I(x, y)$$

τI



记录介质一般是银盐感光干板，对两个波前的干涉图样曝光后，经显影、定影处理得到全息图

拍摄全息照片的装置





用一束相干光波照射全息图，假定它在全息图平面上的复振幅分布为

$$C(x, y) = C_0(x, y) \exp[j\phi_c(x, y)]$$

$$\begin{aligned} t(x, y) &= t_0 + \beta' \left(|R|^2 + |O|^2 + R^*O + RO^* \right) \\ &= t_b + \beta' \left(|O|^2 + R^*O + RO^* \right) \end{aligned}$$

透过全息图的光场为

$$\begin{aligned} U(x, y) &= \underline{C(x, y)} \underline{t(x, y)} \\ &= t_b C + \beta' O O^* C + \beta' R^* C O + \beta' R C O^* \\ &= U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \end{aligned}$$

—— 全息方程

$$U(x, y) = C(x, y)t(x, y)$$

$$= t_b C + \beta' O O^* C + \beta' R^* C O + \beta' R C O^*$$

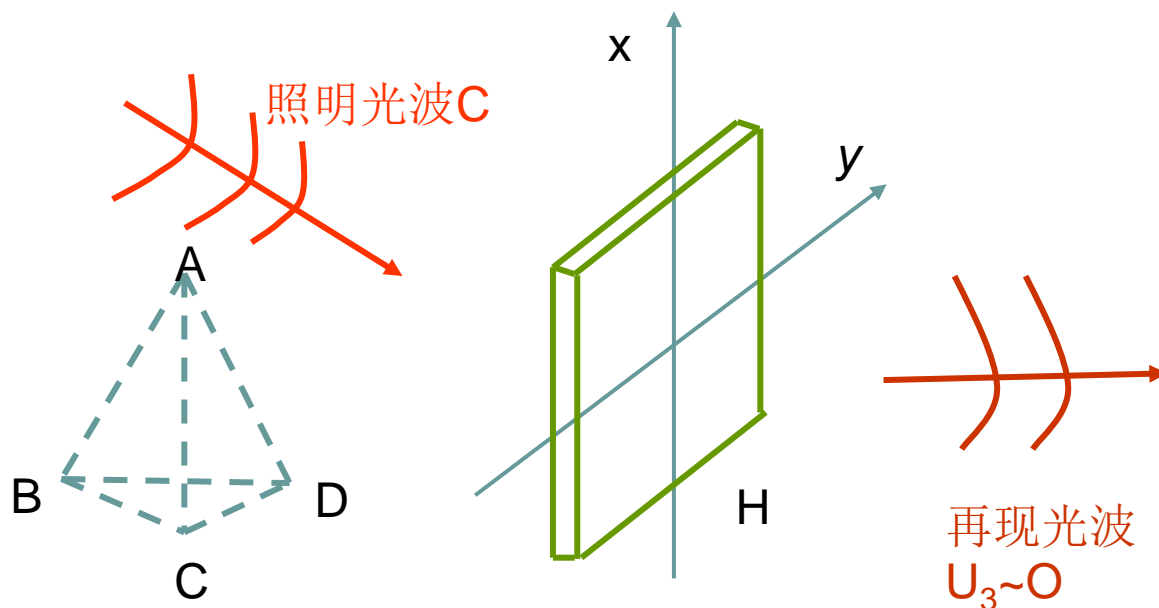
➤ 若采用参考光波照射全息图，即

$C(x, y) = R(x, y)$ ，则 $U_3(x, y) = \beta' R O R^* = \beta' |R|^2 O(x, y)$

$$U_4(x, y) = \beta' R O^* R = \beta' R^2 O^*(x, y)$$

不考虑常数因子， U_3 是原始物光波的准确复现，给出物体的一个虚像；

O^* 是物光波前的共轭，若原始物波是发散的，则共轭光波是会聚的，因此 U_4 的传播将给出物体的一个实像。



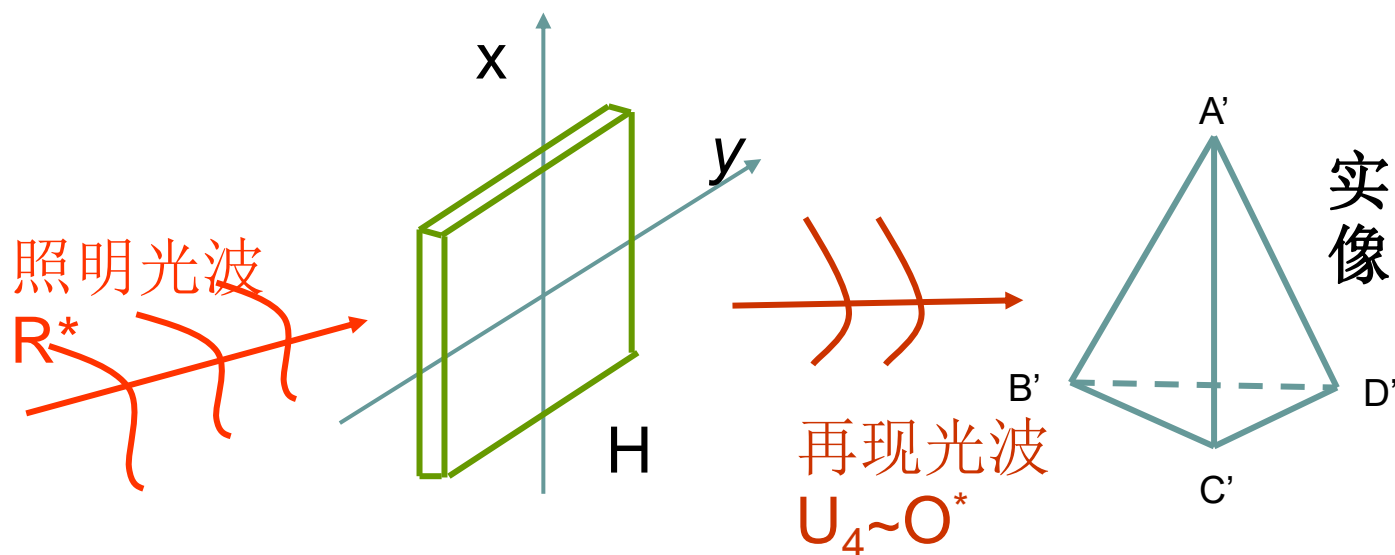
$$U(x, y) = C(x, y)t(x, y) \\ = t_b C + \beta' O O^* C + \beta' R^* C O + \beta' R C O^*$$

➤ 若采用共轭参考光照明全息图，即 $C(x, y) = R^*(x, y)$ ，则

$$U_3(x, y) = \beta' R^* O R^* = \beta' \underbrace{R^{*2}}_{\text{red circle}} \underbrace{O(x, y)}_{\text{red underline}}$$

$$U_4(x, y) = \beta' R^* O^* R = \beta' \underbrace{|R|^2}_{\text{red underline}} \underbrace{O^*(x, y)}_{\text{red underline}}$$

U_3 和 U_4 仍正比于物光波前或其共轭，将分别产生虚像和实像。

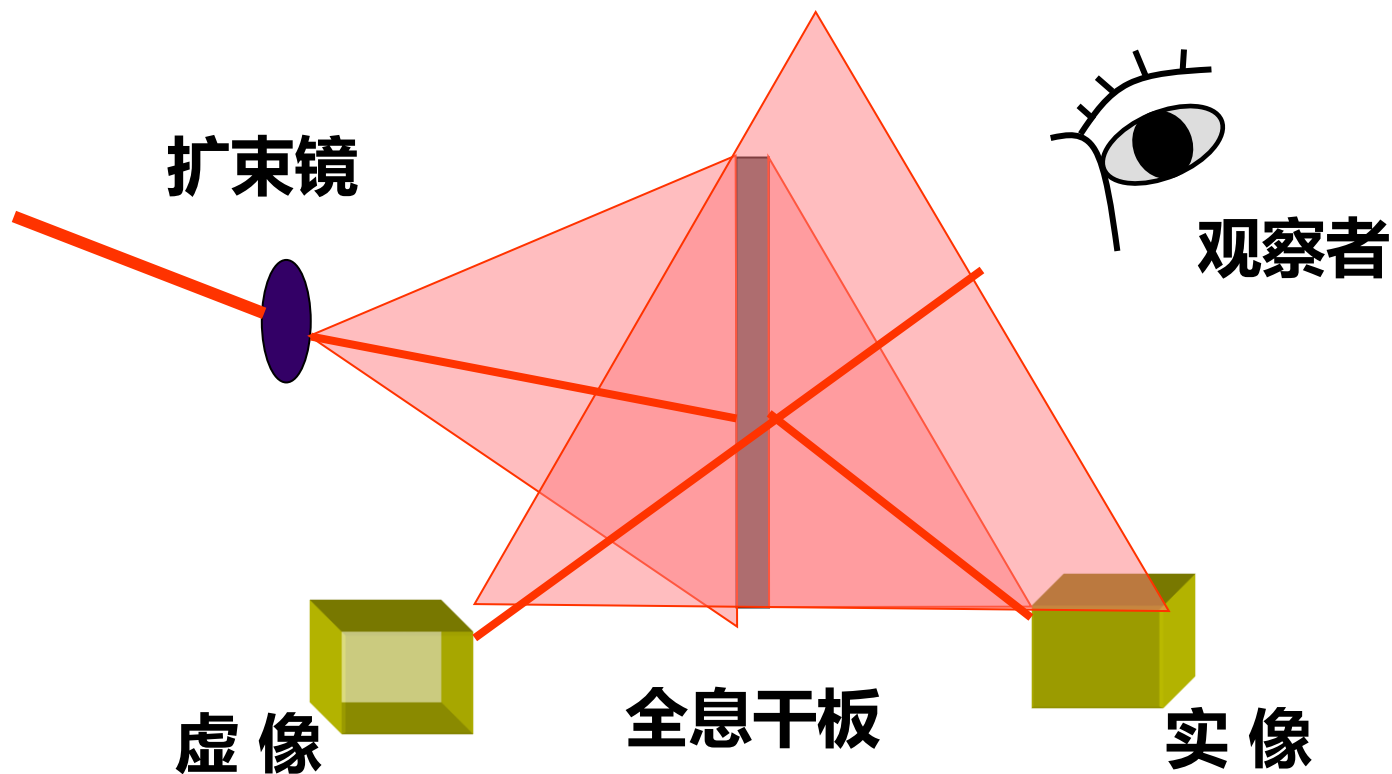




激光全息图的再现原理

将记录有物体全部信息的全息干板进行暗室处理后，再用一束激光束照射，激光经过干板上干涉条纹的衍射，人眼通过干板可以看到一个与原物体形状一样的像（虚像），同时在以干板为对称的地方还有一个与原物体完全相同的像（实像）。

再现原理

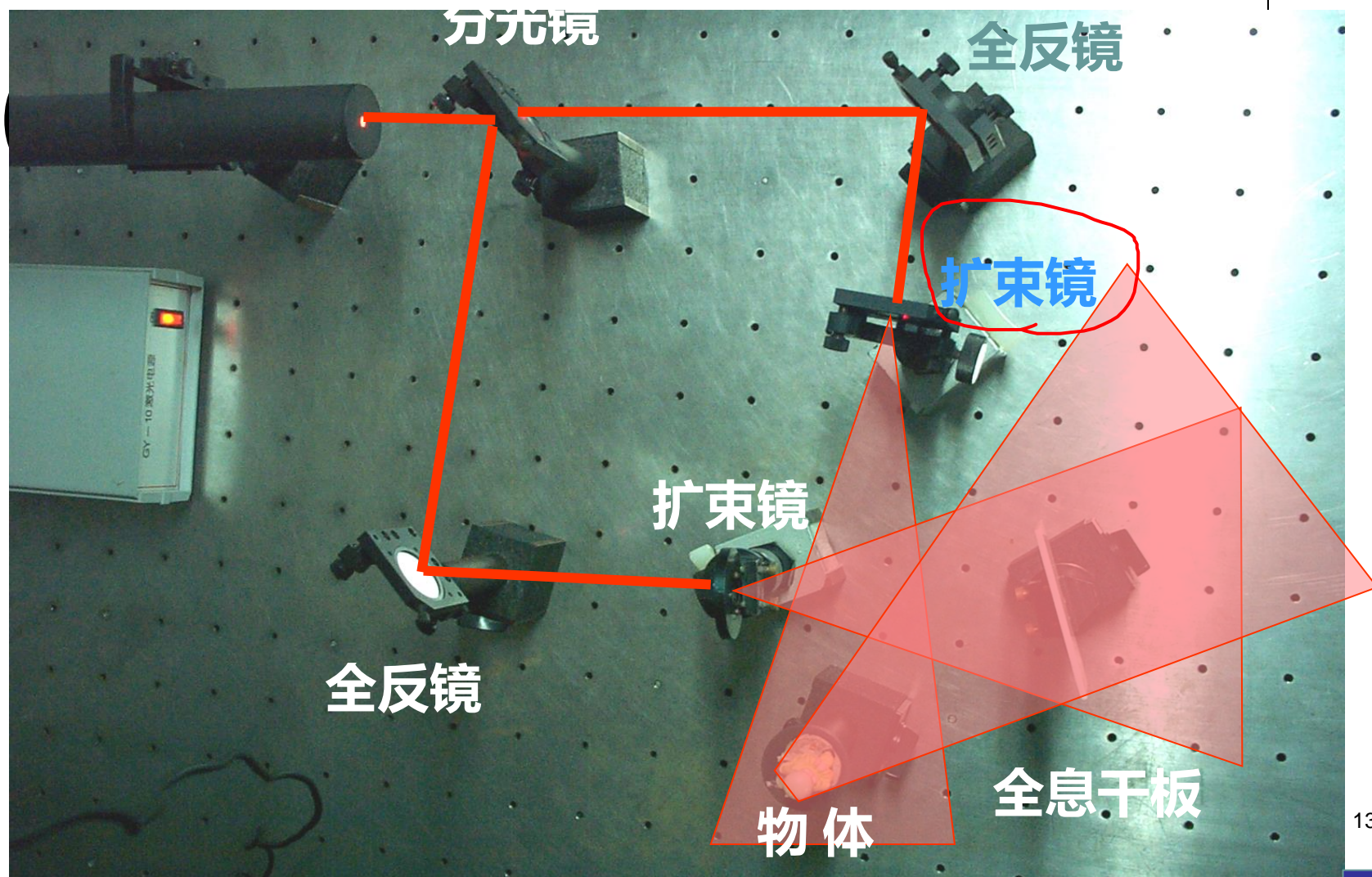


3、全息照相装置

实验装置：He-Ne激光器、全息台、曝光定时器、全息干板、暗室设备



(1) 全息图拍摄, 曝光

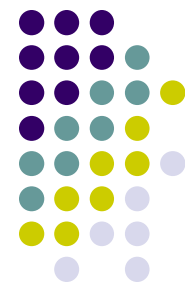


拍摄注意事项



1. 选择具有较长相干长度的光源。
2. 装置尽量避免震动。
3. 调节参考光和物光的夹角， 过大则要求记录材料的分辨率提高，过小再现时观察视角受限。
4. 光程调节：保证参考光与物光严格等光程。
5. 尽量减少光强损失。
6. 扩束 - 滤波系统调节：产生均匀的平面波或发散球面波。
7. 被摄物体的选择及照明。 使物光波尽可能均匀散射到整个全息底片上。
8. 选择合适的光束比， 使全息图有最高的反衬度。
9. 选择合适的光曝光量， 实现线性记录。

(2)、全息干版的冲洗



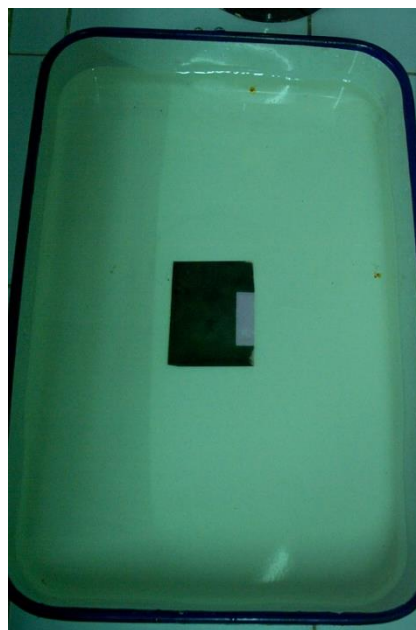
在照相暗室中，可在暗绿灯下操作，整个过程不能用手触摸全息干版的表面。

D19显影液



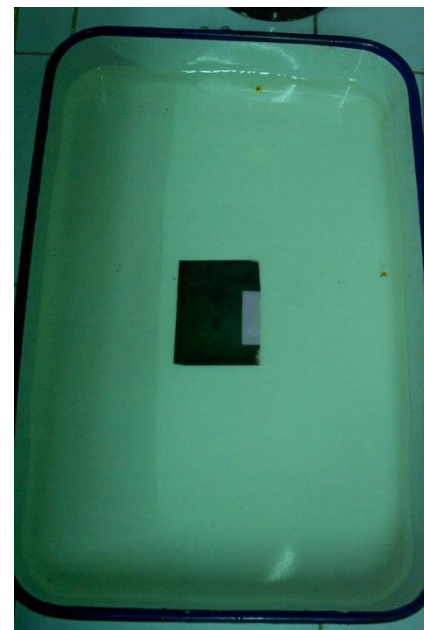
2到3分钟

清 水



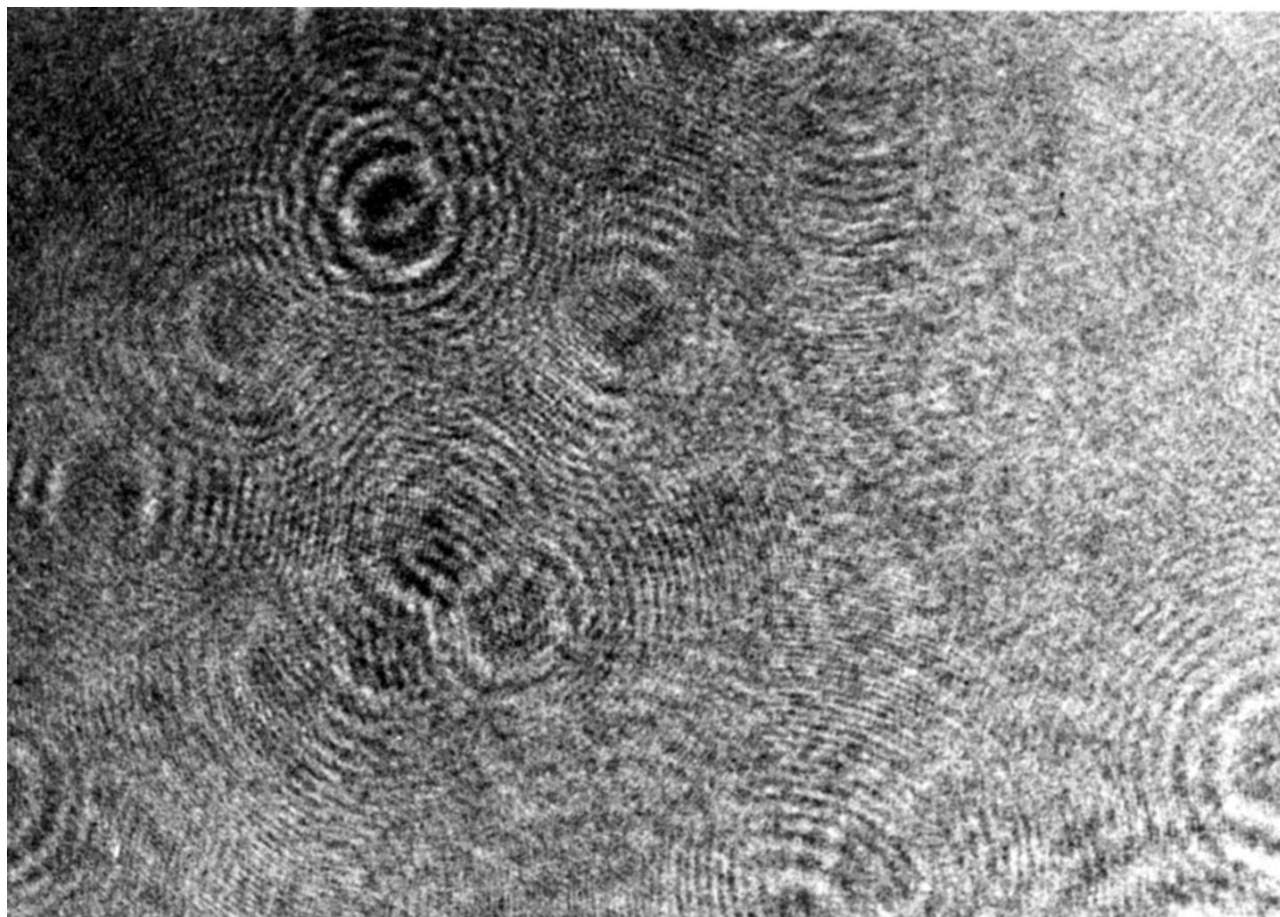
半分钟

定影液



4-5分钟

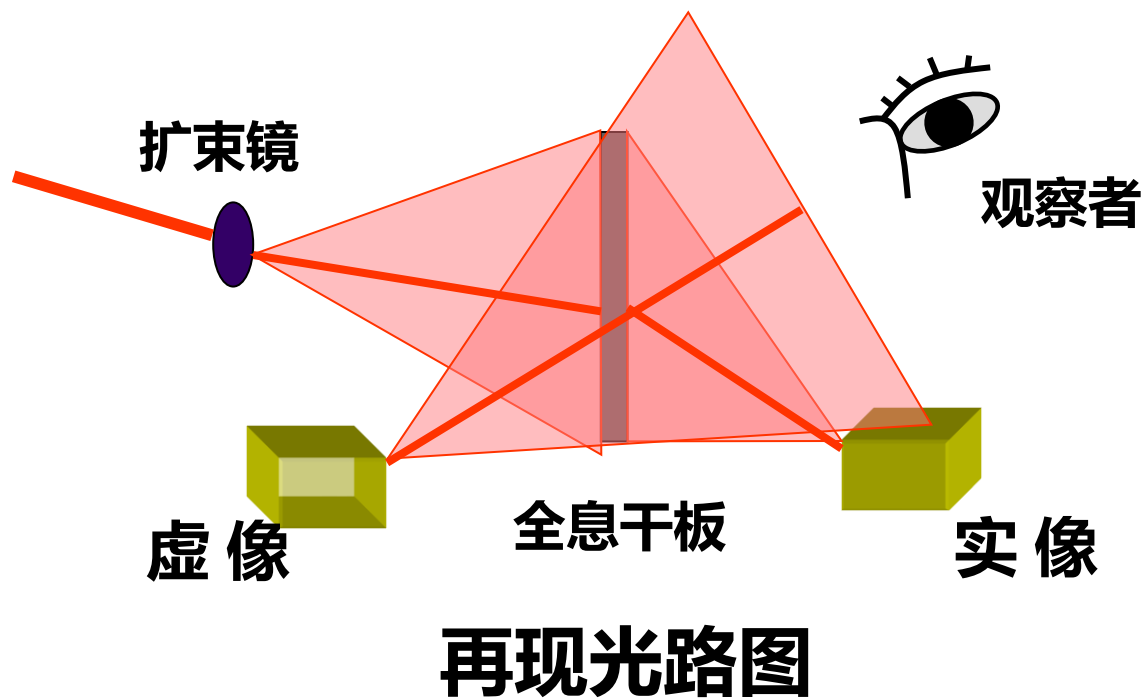
干板上记录的是干涉条纹，而不是物体的像。因此，全息图在普通光源下看到的外观仅为干涉条纹。



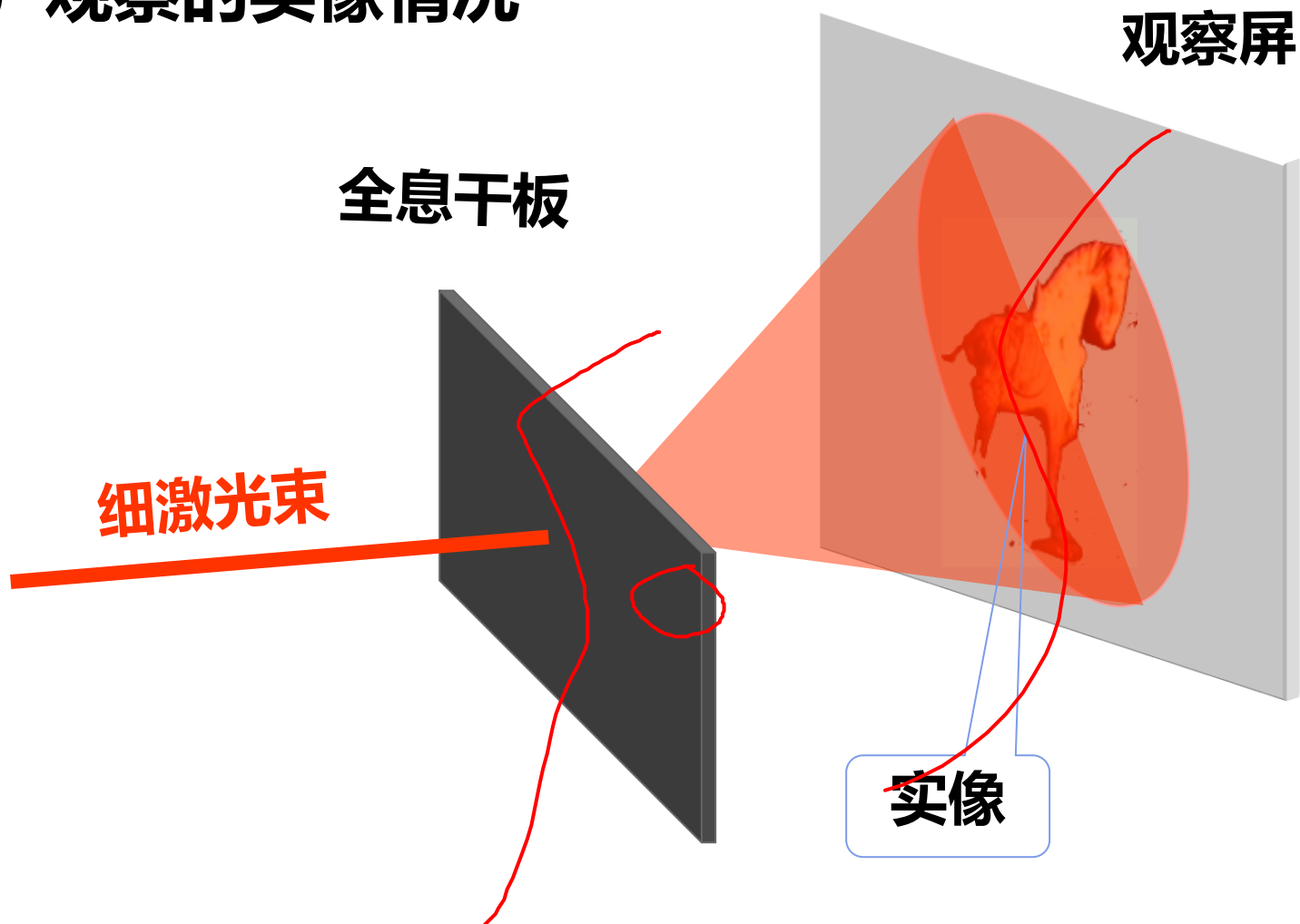


(3) 物像的再现与观察

(a) 再现虚象的观察

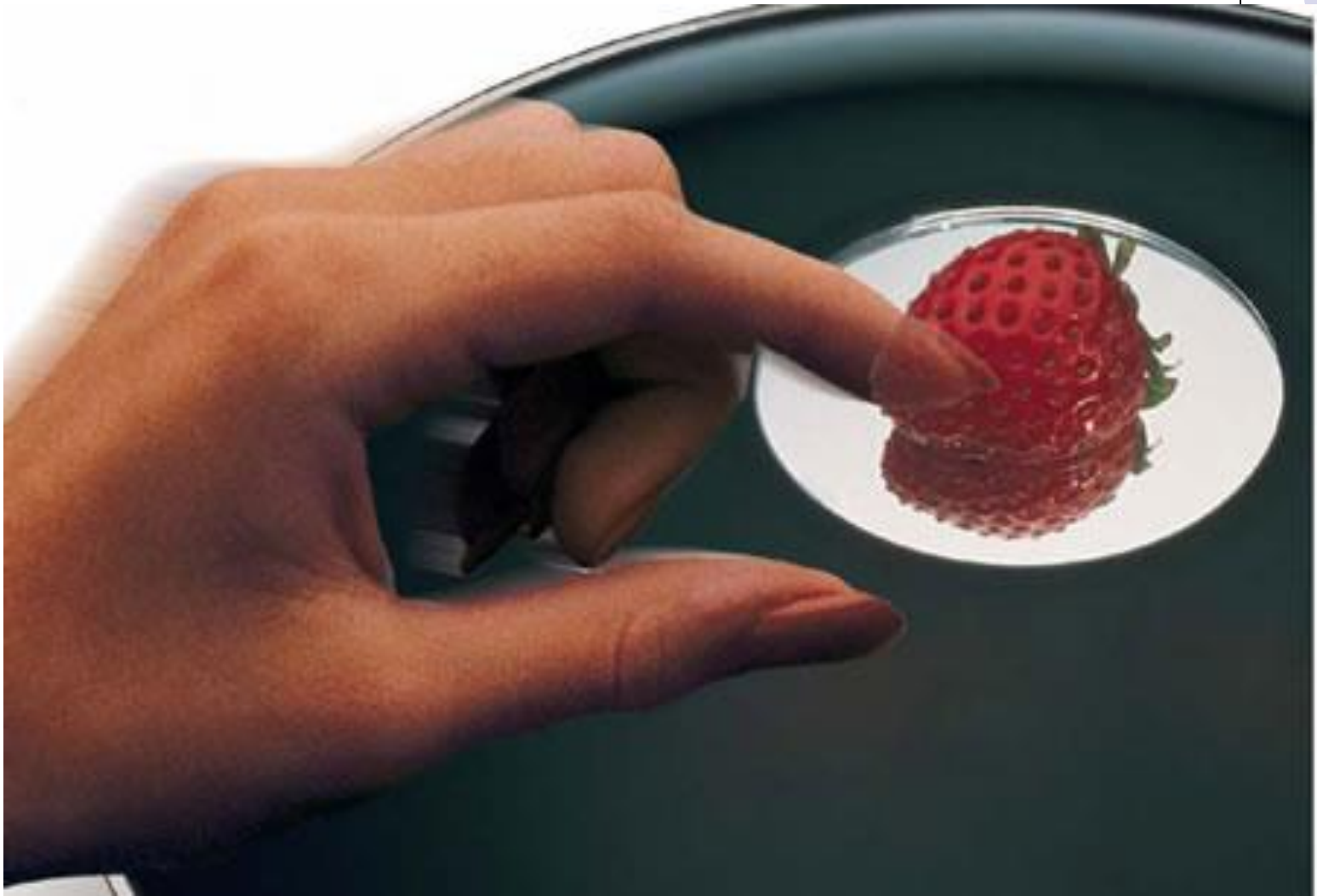
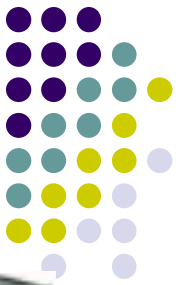


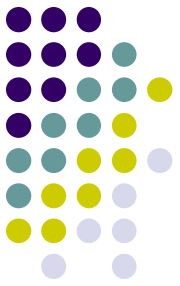
(b) 观察的实像情况



看得见却摸不到的香蕉







4、全息术的应用

全息术的主要应用：

- ✓ 全息显示（电影、电视）
- ✓ 全息干涉技术（光栅制作）
- ✓ 全息显微术
 - ✓（全息设计初衷—提高电子显微镜的分辨率）
- ✓ 全息防伪
- ✓ 全息信息存储

全息技术在电影中的应用





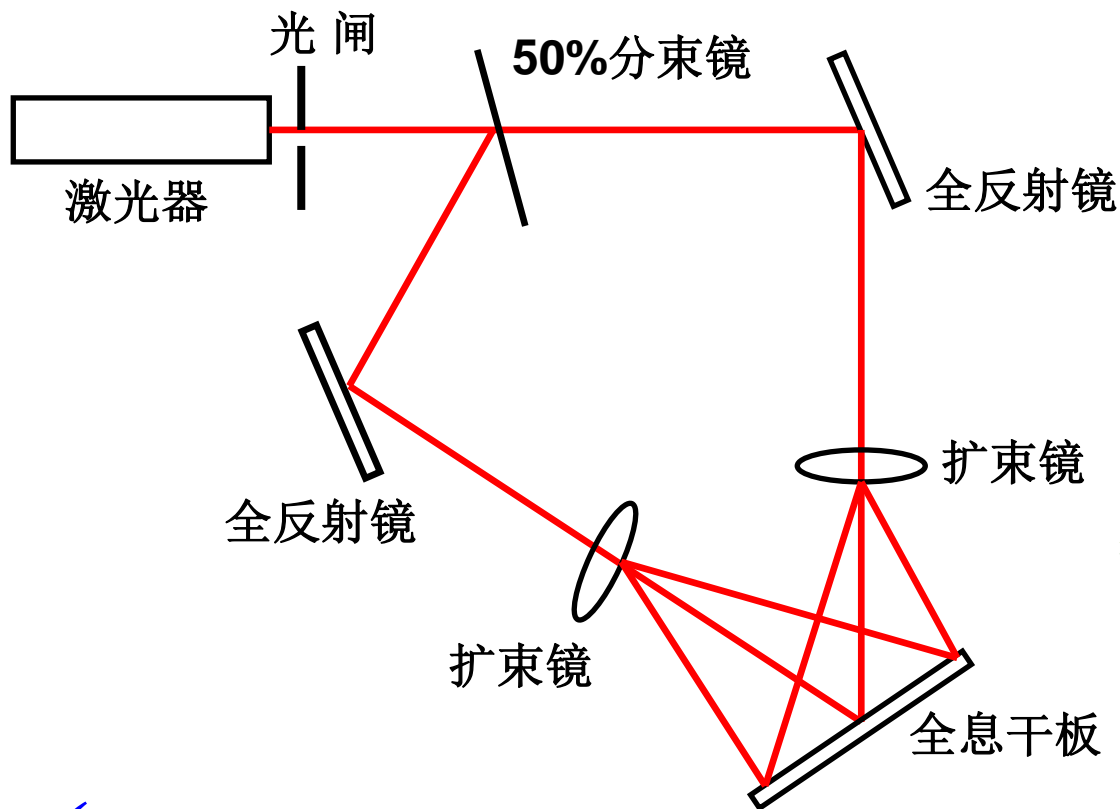
初音全息演唱会





(2) 全息干涉技术（光栅制作）

通常采用双光束干涉的方法。

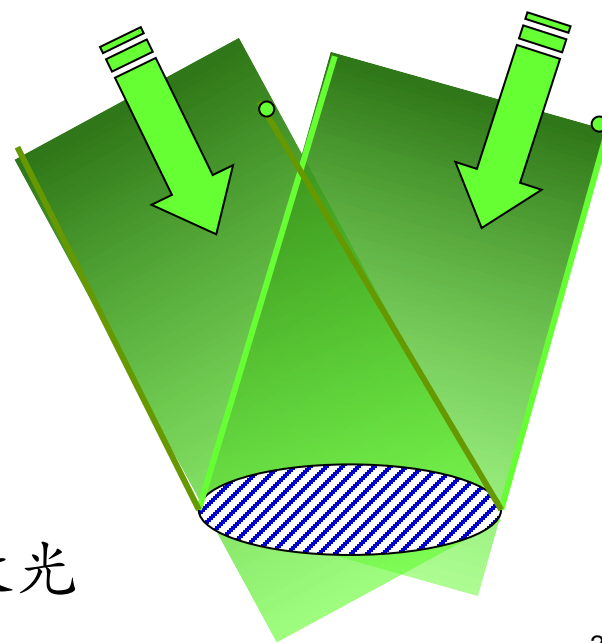


干涉条纹间距

$$2d\sin(\theta/2) = \lambda$$

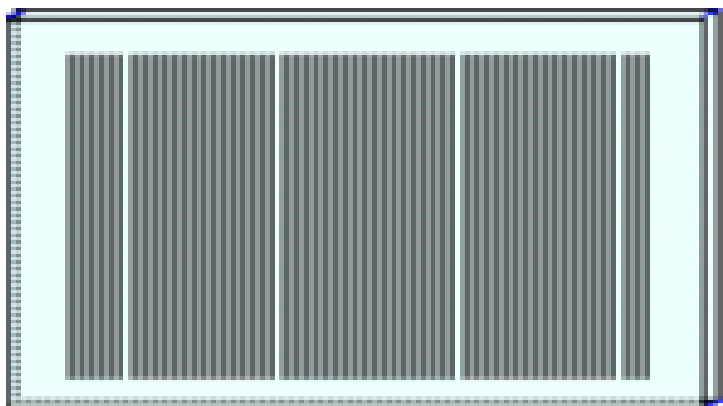
✓ 全息光栅

与传统光栅比，没有周期误差、杂散光少、分辨率高、制作方便等



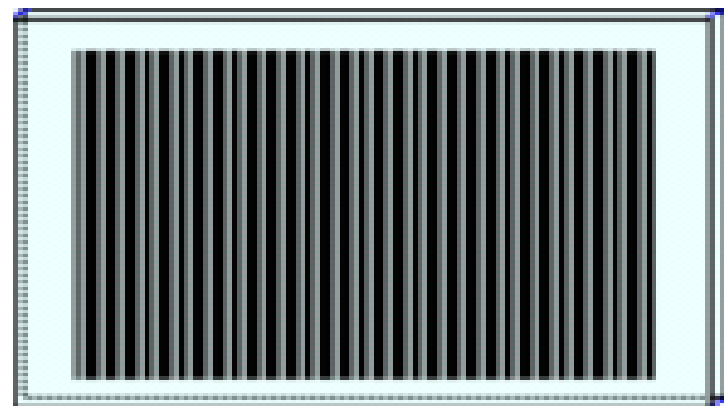


根据制作方法可分为：机制光栅和全息光栅



机制光栅

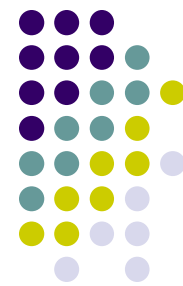
机制光栅：在玻璃片上刻划出一系列平行等距的划痕,刻过的地方不透光，未刻的地方透光



全息光栅

全息光栅：通过全息照相，将激光产生的干涉条纹在干板上曝光，经显影定影制成全息光栅。通常在 **1 cm** 内刻有成千上万条透光狭缝，相当于多光束干涉，光栅形成的光谱线尖锐、明亮。

(3) 全息显微术



如果照明光的波长比记录光的波长大得多，则对于

$$z_0 = z_r = z_c$$

放大倍率为

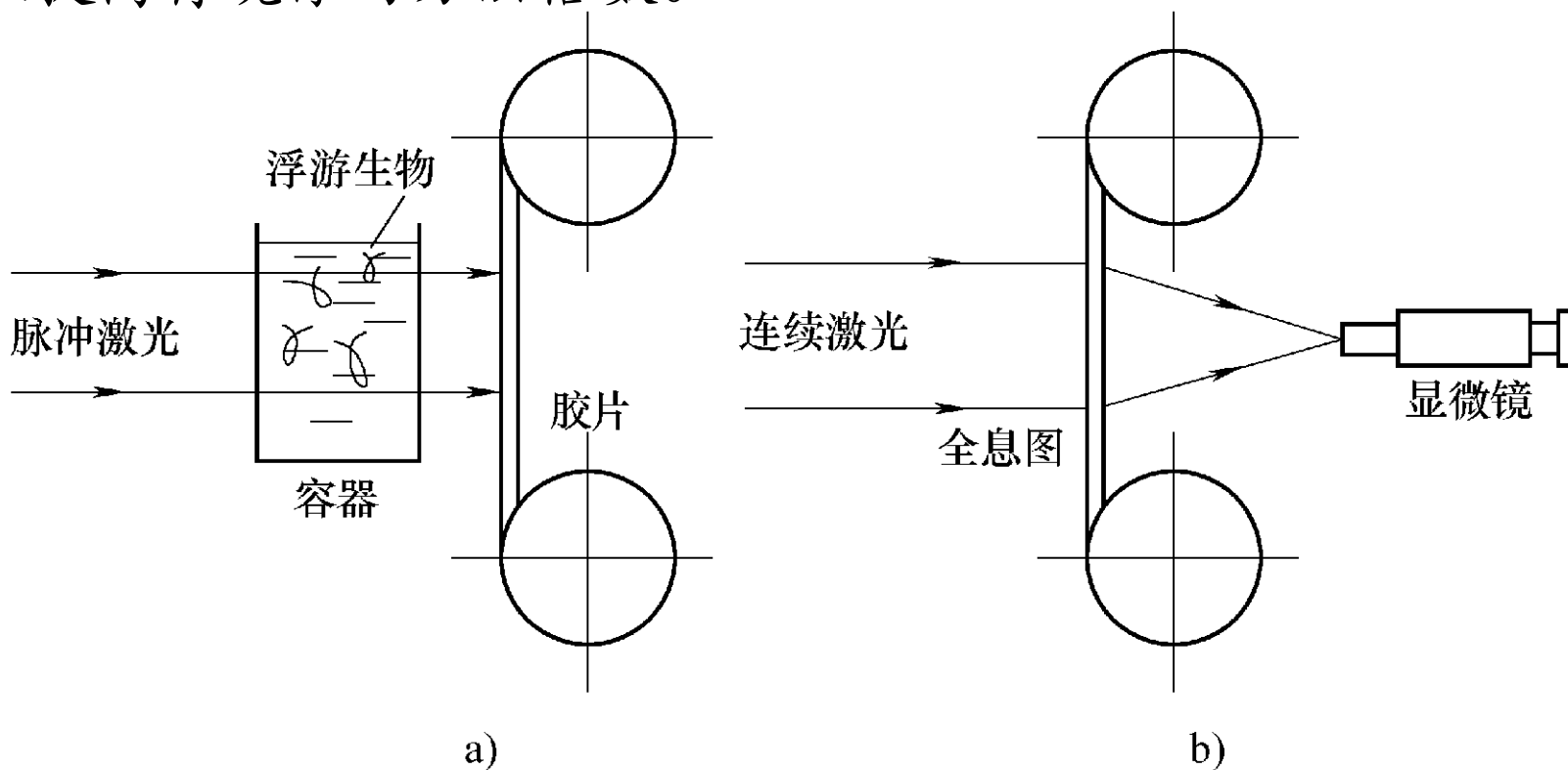
$$M = \left| 1 - \frac{z_0}{z_r} \mp \frac{\lambda_1 z_0}{\lambda_2 z_c} \right|^{-1} = \left| \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right|$$

例如采用X射线拍摄，可见光显示，可获得很大的放大率

(3) 全息显微术



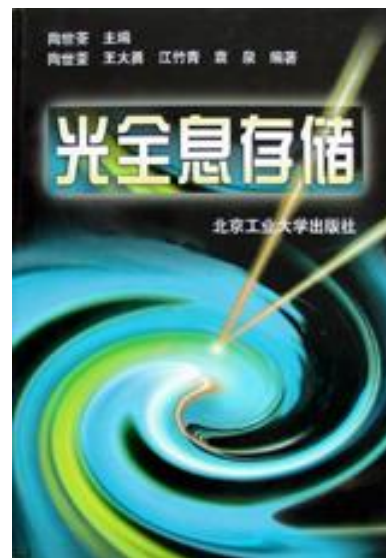
如果照明全息图的光波长比记录波长大得多时，则可以提高再现像的方法倍数。



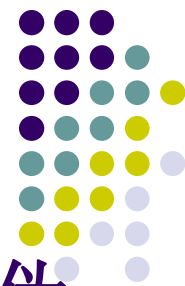
全息超焦深显微术 a)记录浮游生物的全息图 b)观察再现像 27

(4) 全息信息存储

- ①信息存储容量大
- ②记录速度快
- ③记录信息不易丢失
- ④便于拷贝复制



✓ 全息术可以记录经空间调制而携带信息的物光，信息以干涉条纹的形式存储于全息图中。照明全息图，可再现物光波前，可以解调出其所携带信息。



(5) 激光防伪

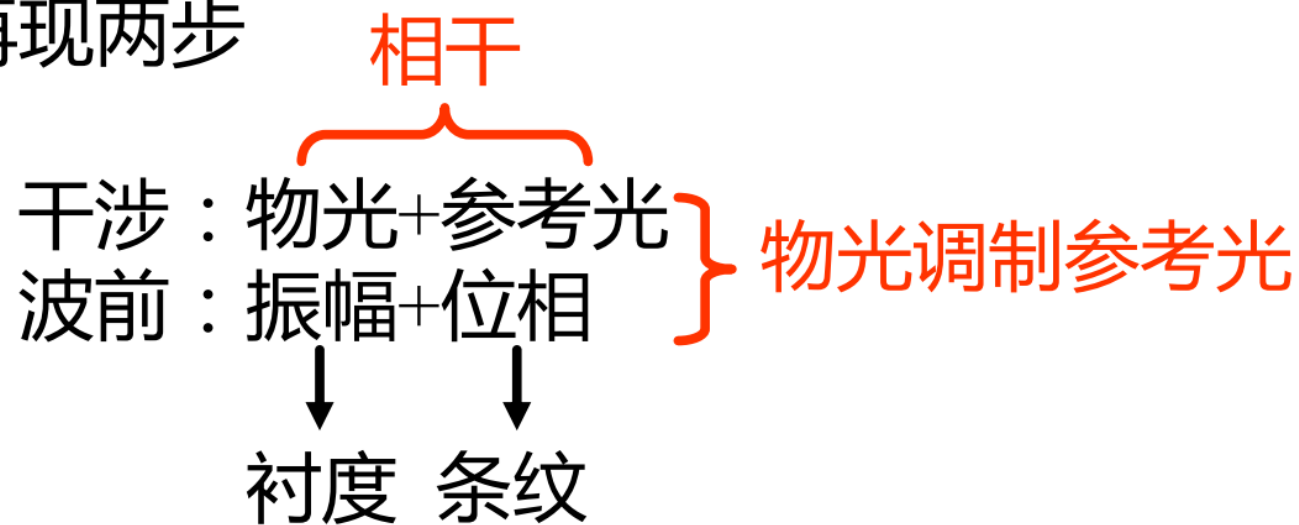
激光防伪又名镭射防伪，或称激光全息防伪。激光防伪技术包括激光全息图像防伪、加密激光全息图像防伪和激光光刻防伪技术三方面。



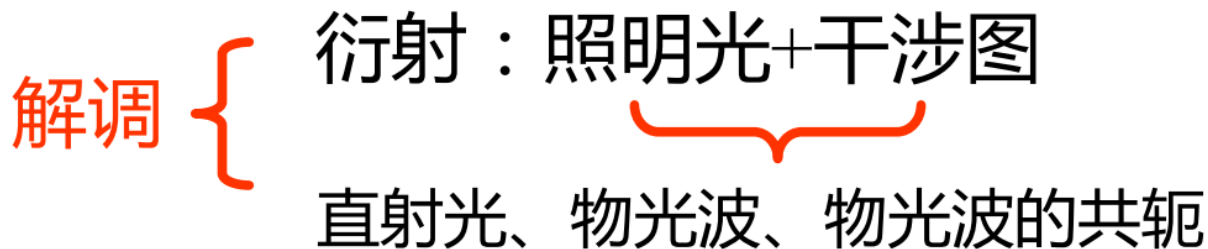
全息照相原理的小结

一、记录、再现两步

二、记录



三、再现



干涉记录，衍射再现