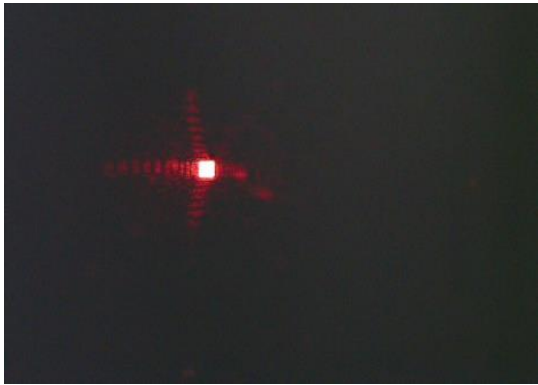
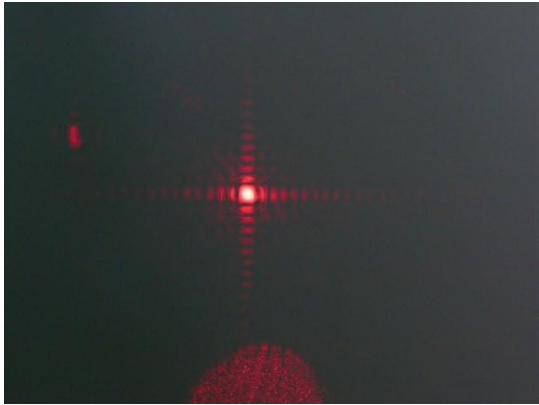

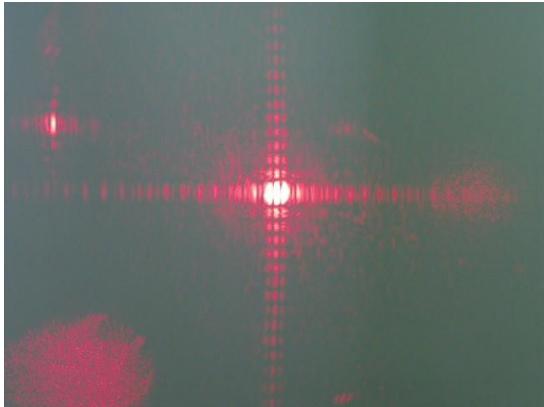
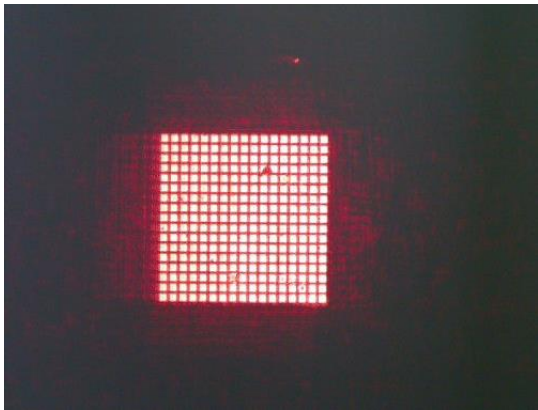
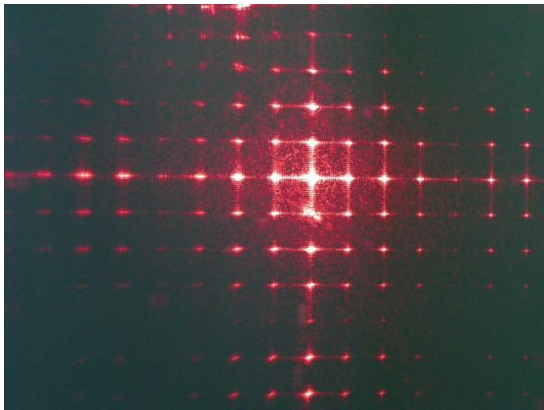


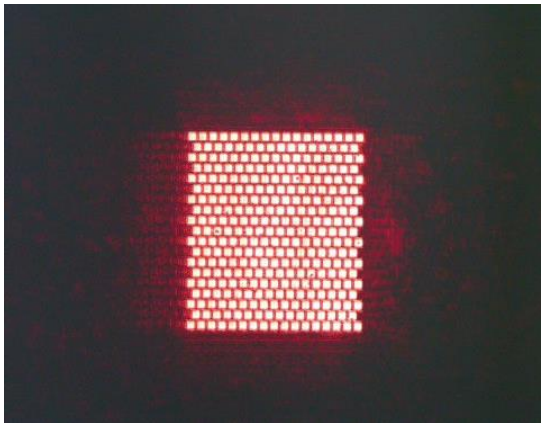
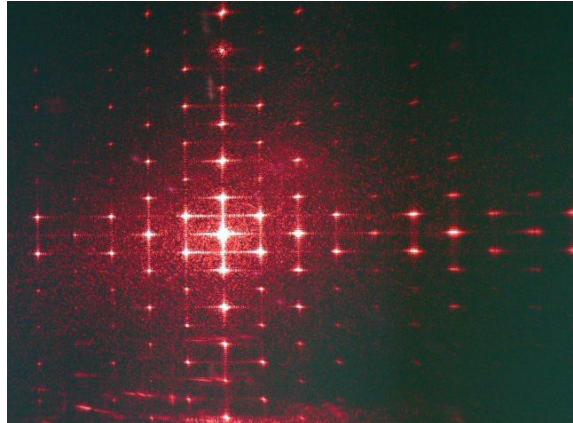

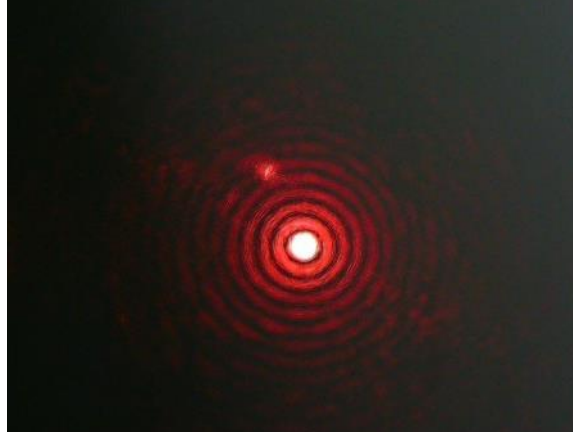


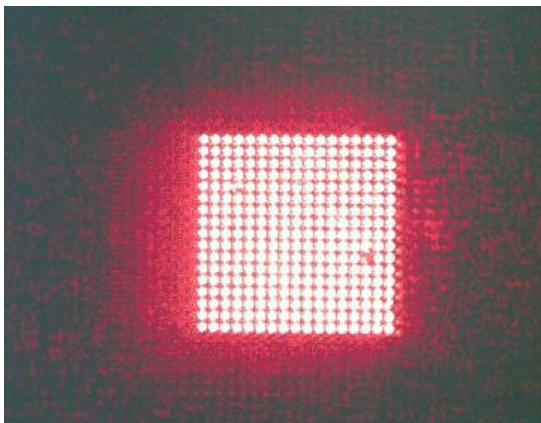
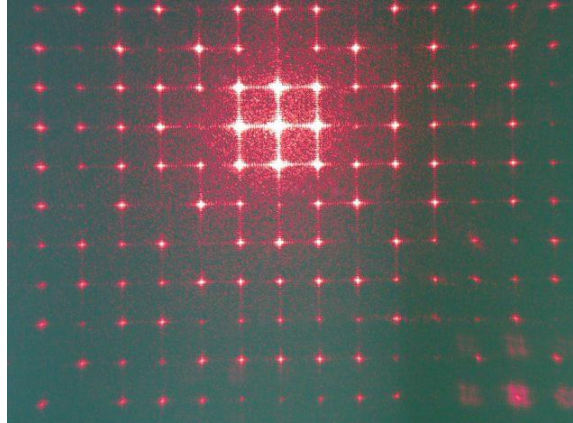
# 光信息处理

周五第 10 组 9 号 甘城屹

一、实验现象记录及数据数据处理 记录观察到的实验现象，进行相应的测量计算，并对实验结论给出相应解释。具体实验内容如下：

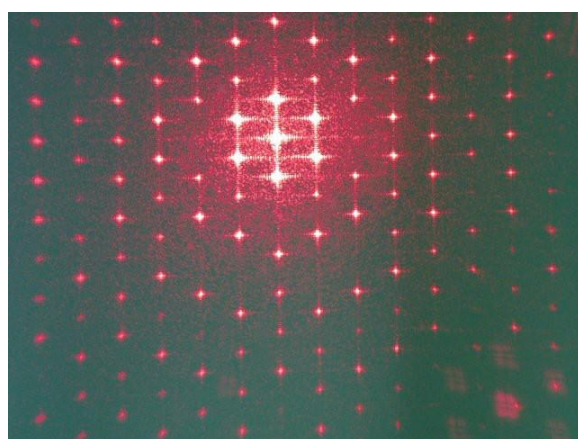
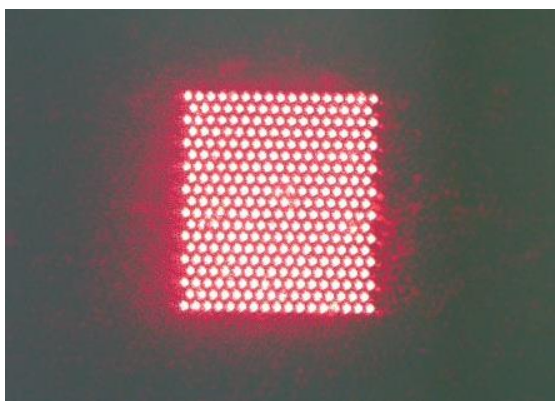
1. 观察并记录衍射屏上不同结构的空间频谱与像的分布，分析小孔阵列（方孔方阵、方孔密排、圆孔方阵、圆孔密排）的频谱分布特征，并解释之。

项目	像	频谱
单方孔		
双方孔		
方孔方阵		

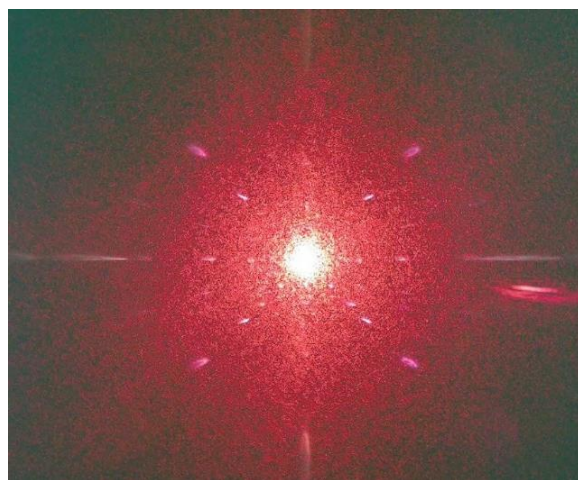
方孔密排		
单圆孔		
双圆孔		
圆孔方阵		



圆孔密排


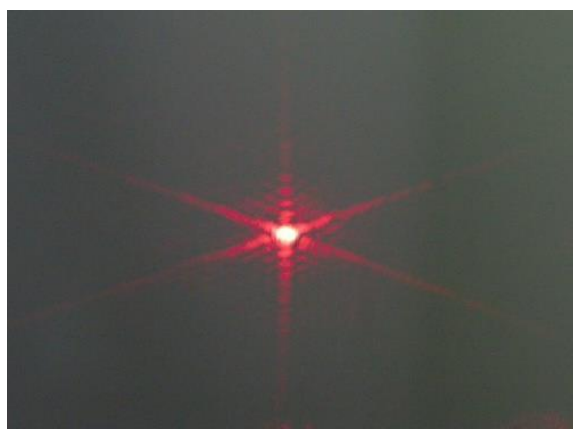

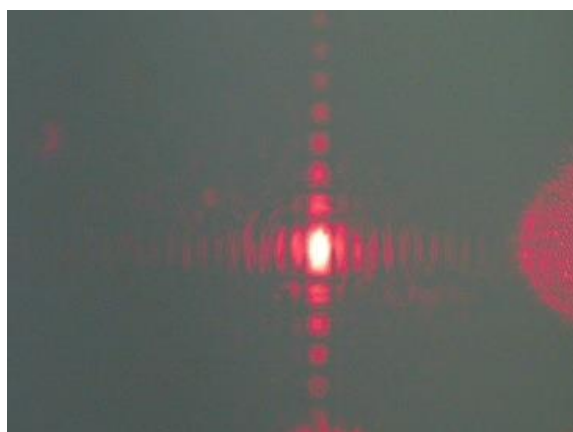

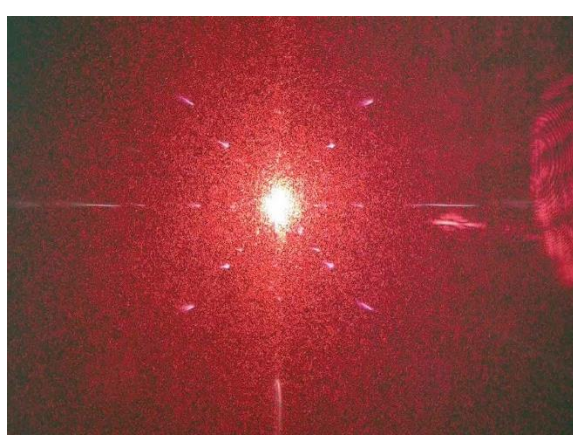

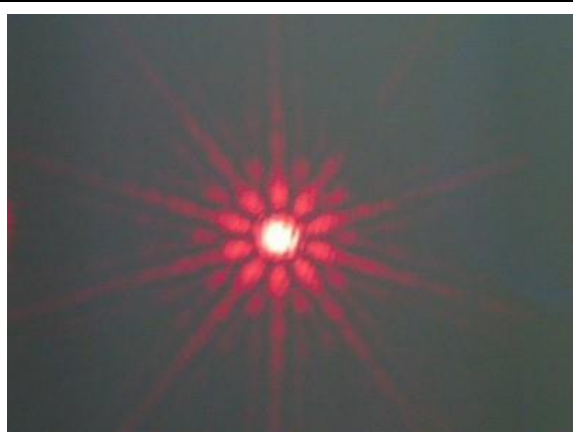


单方屏

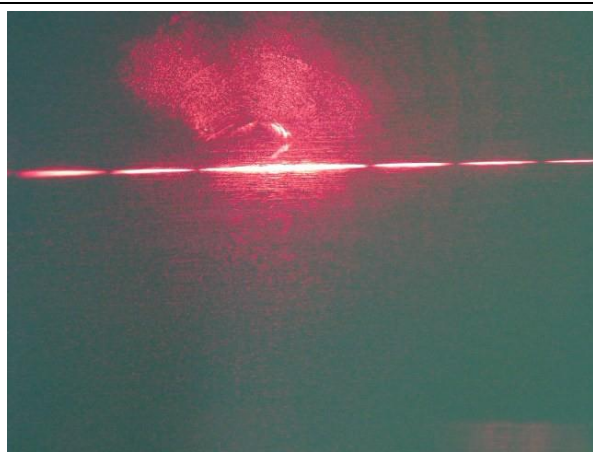
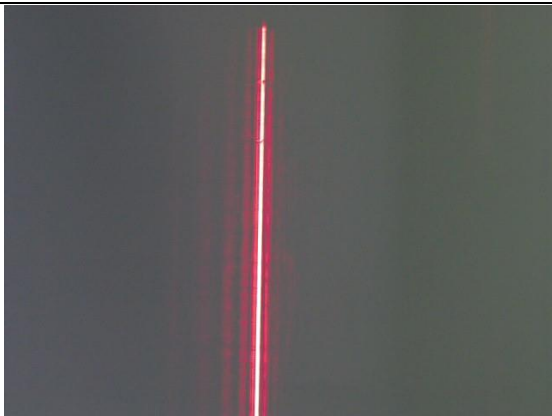


等边三角孔

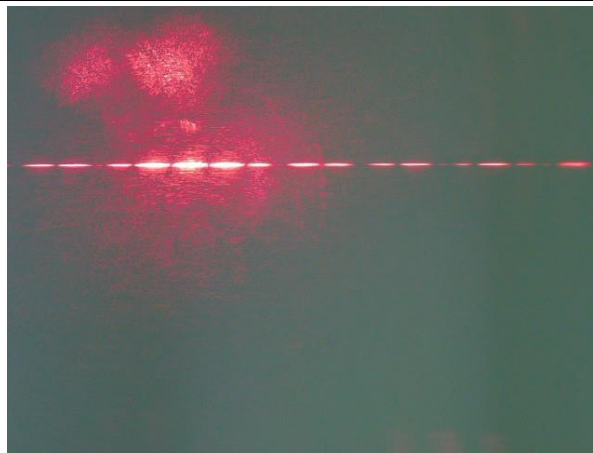


<p>等腰三角孔</p>		
<p>矩形孔</p>		
<p>单圆屏</p>		
<p>五角星孔</p>		

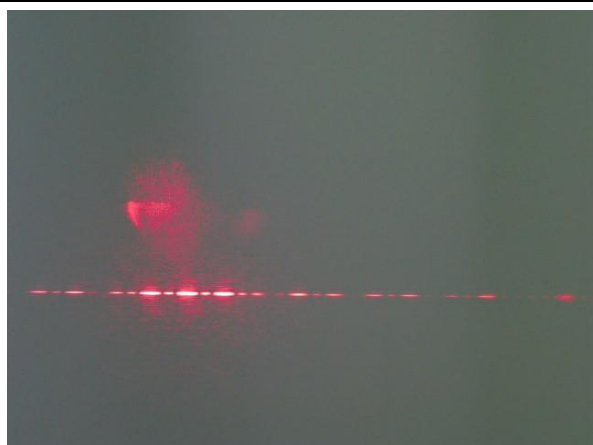
单缝



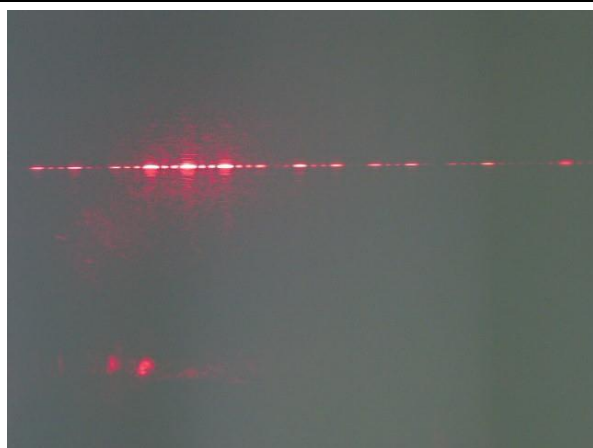
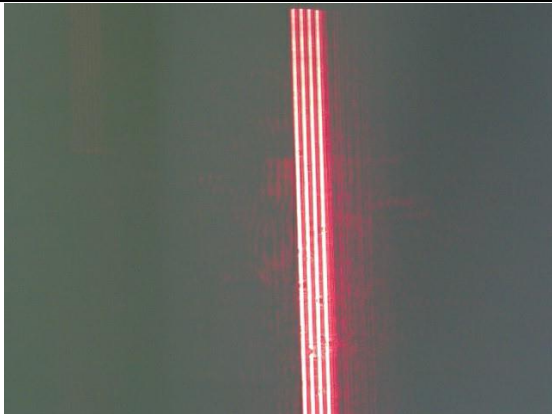
双缝



三缝

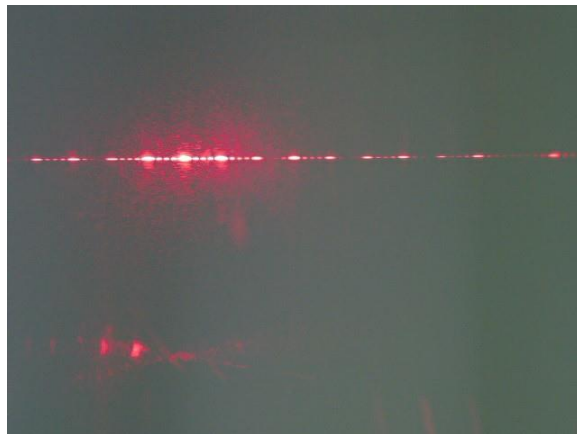
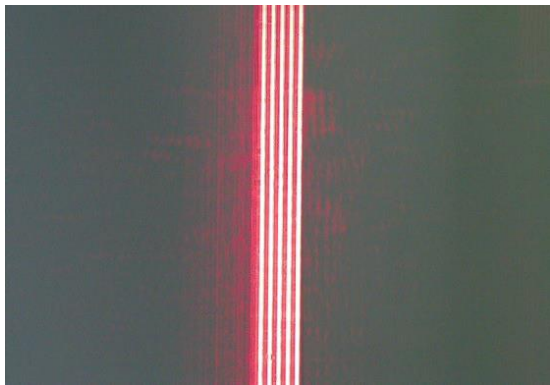


四缝

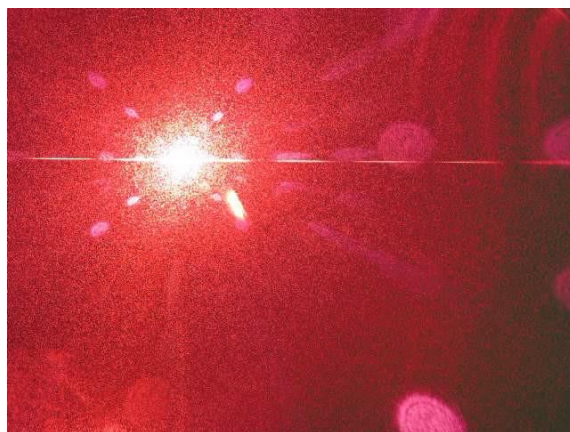
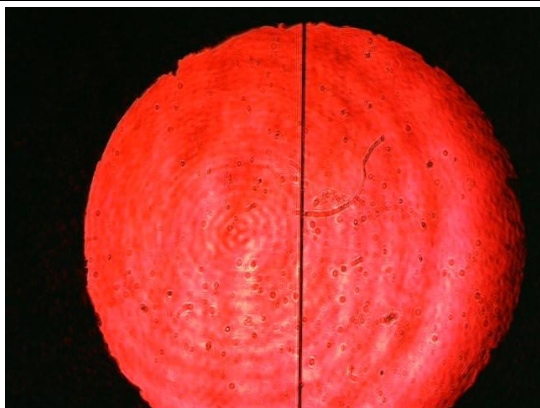




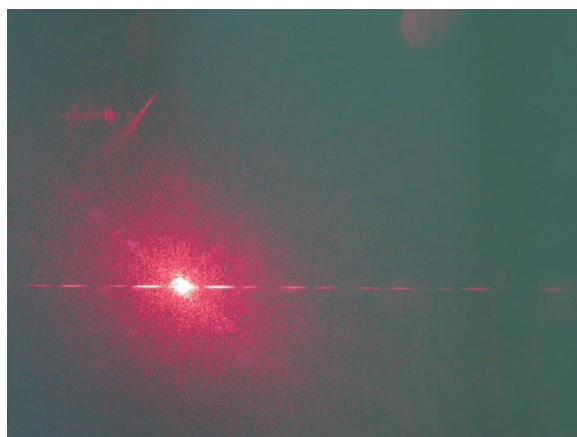
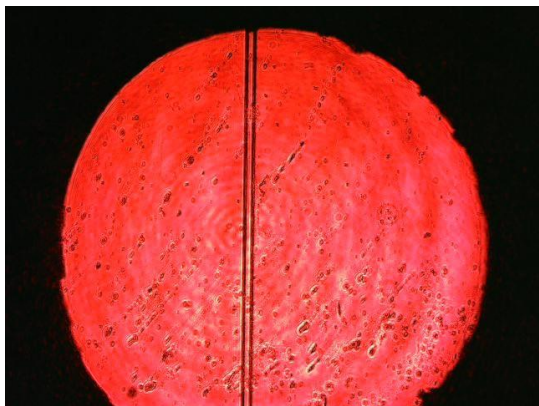
五缝



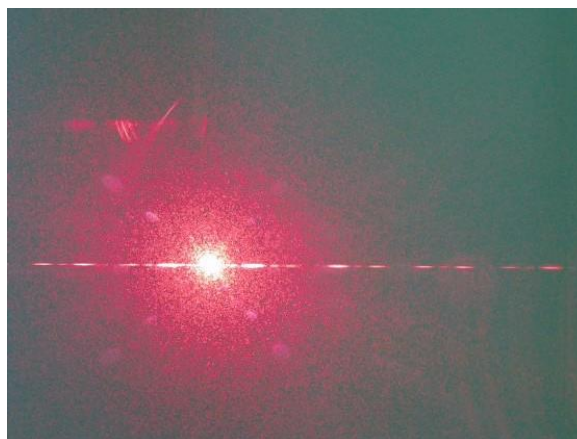
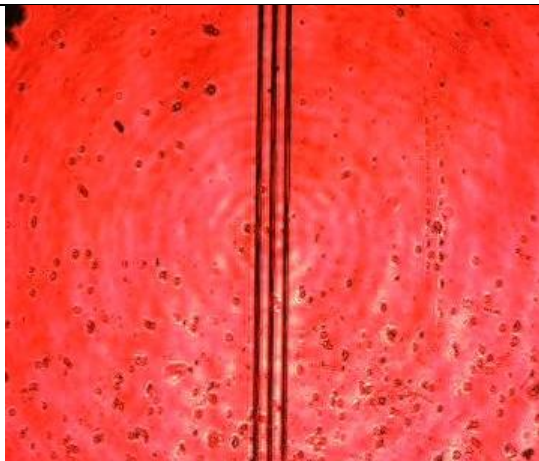
单丝

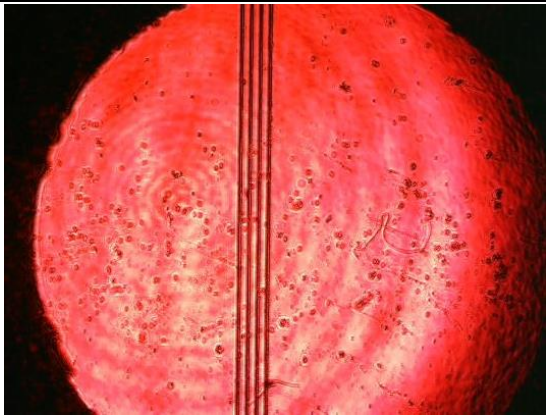

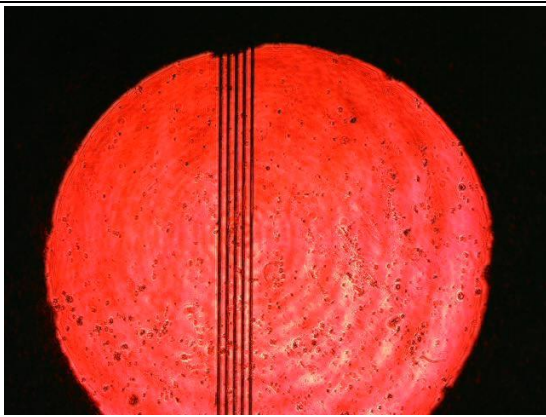



双丝



三丝



四丝		
五丝		

方孔方阵：频谱为方形点阵，中间亮，沿着两个正交的方向整体上亮度递减但变化具有一定周期性，且被类似三角函数的曲线包络。

方孔密排：频谱每行错开半个周期，为菱形点阵，中间亮，沿着两个正交的方向整体上亮度递减但变化具有一定周期性，且被类似三角函数的曲线包络。

圆孔方阵：频谱为方形点阵，中心亮，整体上沿着径向亮度衰减。

圆孔密排：频谱为菱形点阵，中心亮，整体上沿着径向亮度衰减。

对方孔方阵的解释：看作单个方孔（透过率函数  $s$ ）和二维点阵（透过率函数  $g$ ）的卷积结果，有：

$$t(x, y) = s(x, y) * g(x, y)$$

$$s(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) \cdot \text{rect}\left(\frac{y}{a}\right)$$

$$g(x, y) = \sum \delta(x - md, y - nd)$$

$$S(f_x, f_y) = \iint s(x, y) \cdot e^{-2\pi i(f_x x + f_y y)} dx dy = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{-2\pi i(f_x x)} dx \cdot \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{-2\pi i(f_y y)} dy$$

$$= \frac{\sin(\pi a f_x)}{\pi f_x} \cdot \frac{\sin(\pi a f_y)}{\pi f_y}$$

$$\begin{aligned} G(f_x, f_y) &= \iint g(x, y) \cdot e^{-2\pi i(f_x x + f_y y)} dx dy \\ &= \sum_{m,n} \iint \delta(x - md, y - nd) \cdot e^{-2\pi i(f_x x + f_y y)} dx dy \\ &= \sum_{m,n} e^{-2\pi i(f_x md + f_y nd)} \sim \frac{1}{d^2} \sum_{k,l} \delta\left(f_x - \frac{k}{d}, f_y - \frac{l}{d}\right) \end{aligned}$$

$$T(f_x, f_y) = \frac{a^2}{d^2} \text{sinc}(\pi a f_x) \cdot \text{sinc}(\pi a f_y) \sum_{k,l} \delta\left(f_x - \frac{k}{d}, f_y - \frac{l}{d}\right)$$

则整体上成矩形点阵分布，两正交方向上近似以 sinc 函数图像为包络，亮度递减（sinc 函数有 $\frac{1}{x}$ 因子）

而方孔密排同理可知，只是点阵分布成菱形。

对圆孔方阵的解释：看作单个圆孔（透过率函数 s）和二维点阵（透过率函数 g）的卷积结果，有：

$$t(x, y) = s(x, y) * g(x, y)$$

$$s(x, y) = \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R}\right)$$

$$g(x, y) = \sum \delta(x - md, y - nd)$$

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$$

$$f_x = f \cos \varphi, f_y = f \sin \varphi$$

$$\begin{aligned} S(f) &= \iint s(x, y) \cdot e^{-2\pi i(f_x x + f_y y)} dx dy = \iint \text{circ}\left(\frac{r}{R}\right) e^{-2\pi i f r \cos(\theta - \varphi)} r dr d\theta \\ &= \int_0^R dr \int_0^{2\pi} e^{-2\pi i f r \cos(\theta - \varphi)} r d\theta = \int_0^R 2\pi J_0(2\pi f r) r dr = \pi R^2 \frac{2J_1(2\pi R f)}{2\pi R f} \end{aligned}$$

$$G(f_x, f_y) \sim \frac{1}{d^2} \sum_{k,l} \delta\left(f_x - \frac{k}{d}, f_y - \frac{l}{d}\right)$$



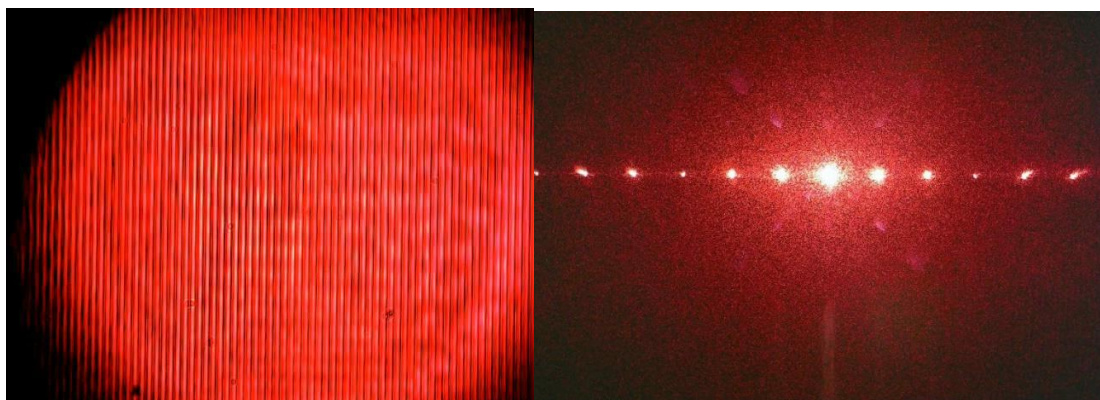
$$T(f_x, f_y) = \frac{\pi R^2}{d^2} \frac{2J_1\left(2\pi R \sqrt{f_x^2 + f_y^2}\right)}{2\pi R \sqrt{f_x^2 + f_y^2}} \sum_{k,l} \delta\left(f_x - \frac{k}{d}, f_y - \frac{l}{d}\right)$$

则整体上成矩形点阵分布，沿着径向亮度递减，但有振荡。

而方孔密排同理可知，只是点阵分布成菱形。

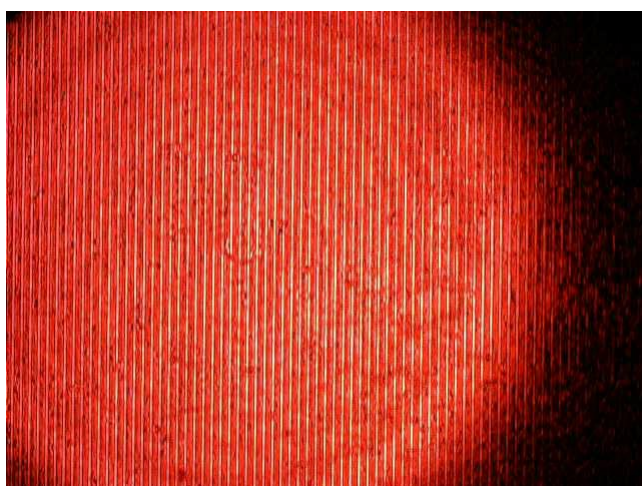
2. 观察一维光栅空间频谱与像的分布，在频谱面放上可调狭缝及其它附加光阑进行空间滤波，观察并记录像面特点，并解释之。

(1) 像及空间频谱

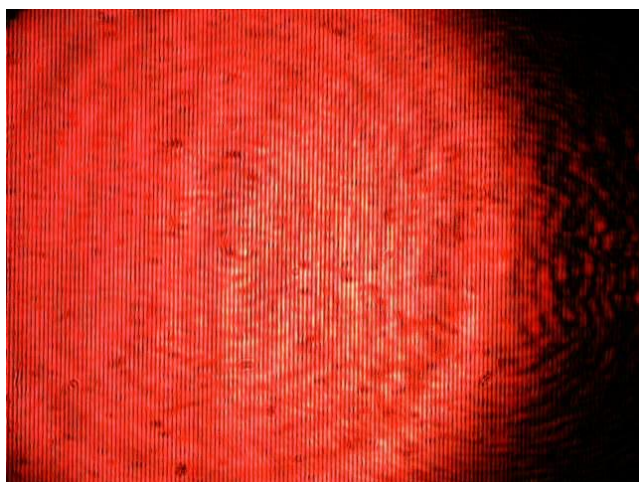


(2) 空间滤波后的像

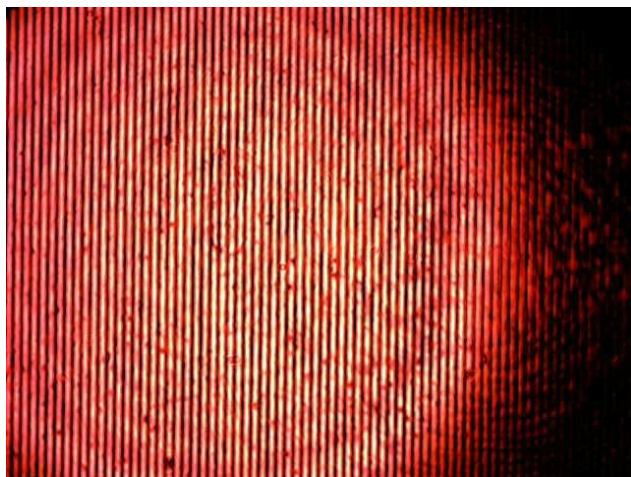
① 滤 0



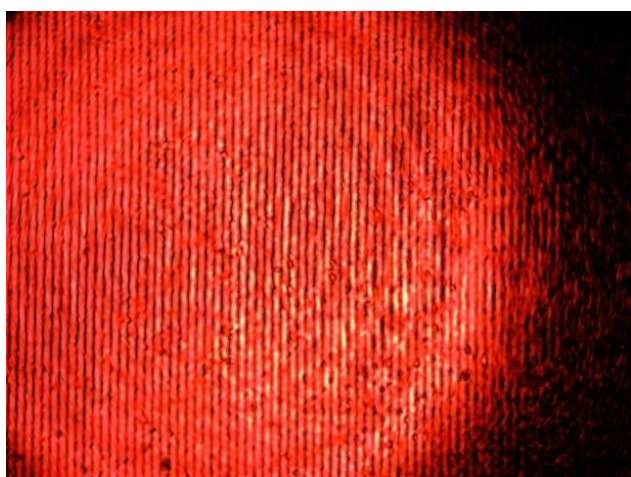
② 滤 ±1



③剩 0、 $\pm 1$



④剩+1、+2



现象: 滤 0: 原暗区变亮, 整体对比度下降

滤 $\pm 1$ : 像的频率加倍, 分辨率降低

剩 0、 $\pm 1$ ：图案整体结构无明显变化，暗区更暗

剩+1、+2：图像变暗、变模糊

解释： 滤 0：滤去 0 级，对应大尺度的光强整体变暗，高频区域对亮度的影响相对增强，从而原有明暗层次被削弱，对比度下降，原暗区显得更亮。

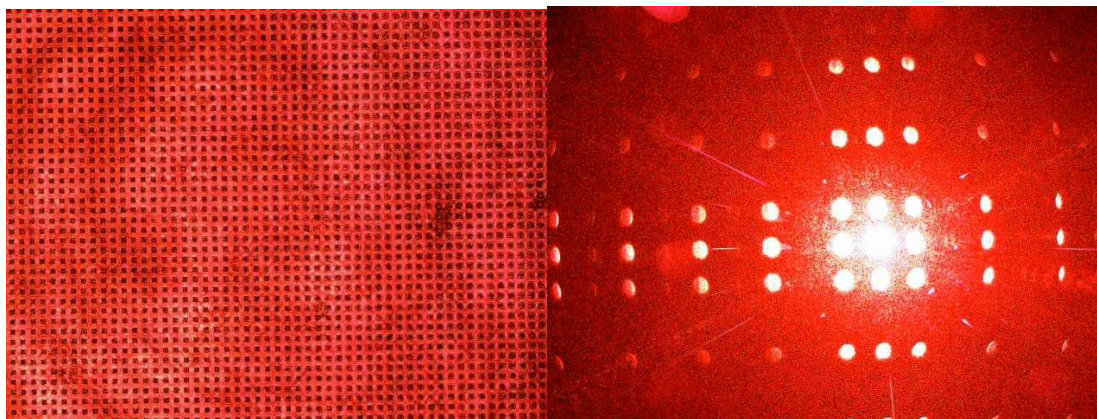
滤 $\pm 1$ ：滤去了代表光栅基频的 $\pm 1$ 级，使得像的结构由 $\pm 2$ 级主导，而 $\pm 2$ 级的频率为基频的两倍，从而像的频率加倍，而分辨率也相应地降低

剩 0、 $\pm 1$ ：滤去了高频信息，但保留关键的 0、 $\pm 1$ 级，故像的整体亮度和结构基本不变，但丧失了高频代表的边缘细节

剩+1、+2：缺少 0 级故亮度明显降低，失去负级次从而像的清晰度降低

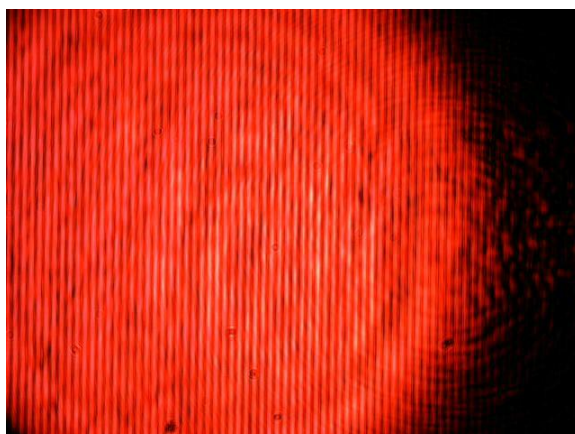
3. 观察二维光栅空间频谱和像分布，在频谱面上利用不同取向的狭缝光阑进行空间滤波，观察并记录像面变化，并解释之。

#### (1) 像及频谱



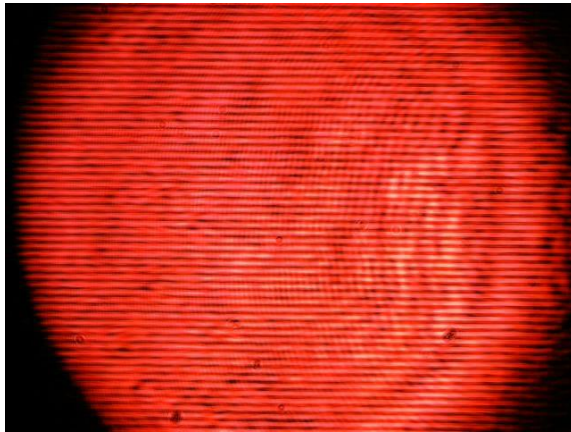
#### (2) 空间滤波后的像

##### ① 横向光阑

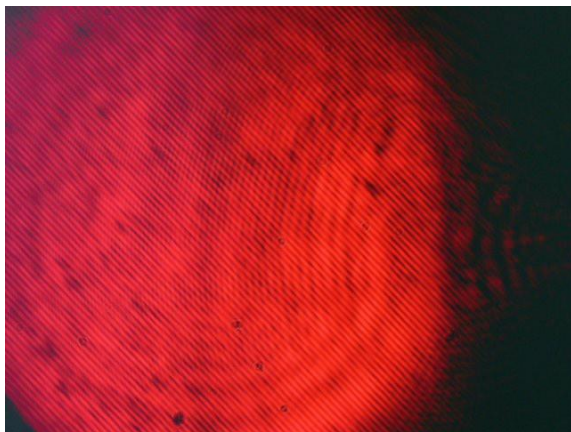




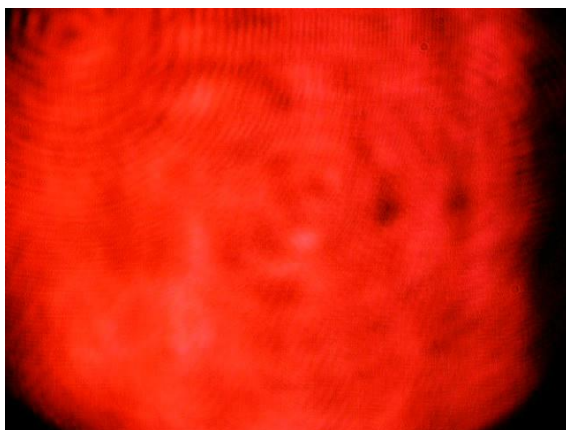
## ② 竖向光阑



## ③ 斜向光阑



## ④ 小孔光阑



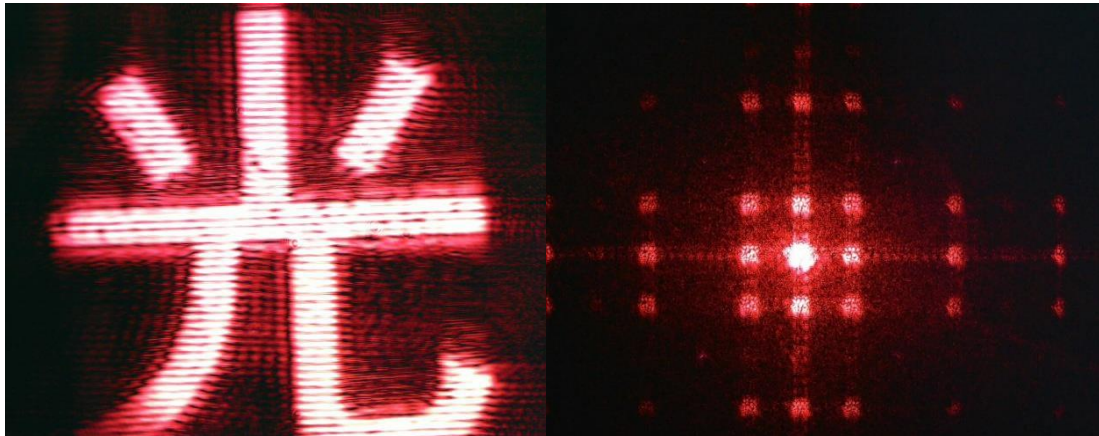
现象：当在频谱面加上狭缝光阑后，像屏上只出现与狭缝方向垂直的线，而加上小孔光阑后，只有光斑。

解释：二维光栅频谱分布为二维点阵（竖向光栅对应横向点阵，横向光栅对应竖向点阵），当用狭缝光阑使得在频谱面只留下沿  $\theta$  角的频率光时，像屏上条纹方向为  $90^\circ +$

$\theta$ ；若加上小孔光阑，由于只透过频谱中心极低频率的光（仅仅与透过率相关，而不携带任何与光栅周期性相关的信息），从而像面上只存留下均匀背景光，像面上没有任何细节。

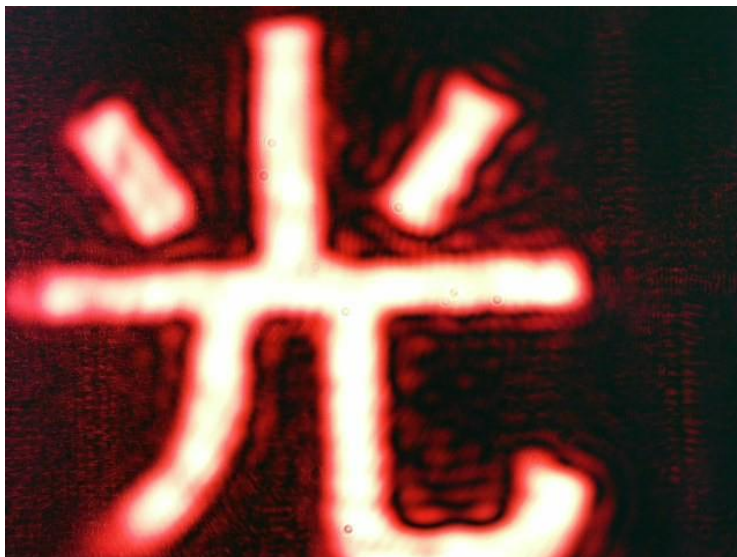
4. 观察“光”字样品空间频谱与像的分布，并利用 $\phi=1\text{mm}$ 和 $\phi=0.3\text{mm}$ 的圆孔光阑分别进行滤波，记录像面变化，并解释之。将频谱面上光阑平移，使不在光轴上的一个衍射点通过光阑，观察并记录像面变化，并解释之。

#### （1）像及空间频谱



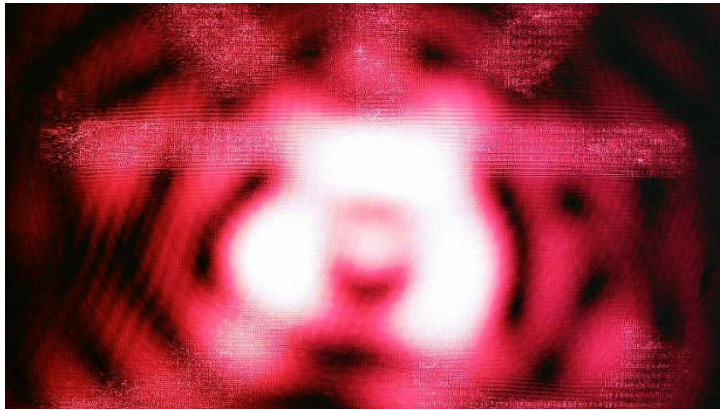
#### （2）光轴衍射点形成的像

①1mm



②0.3mm





像面变化：在频谱面加入 1mm 小孔进行空间滤波后，图像总体上仍然较为清晰，且亮度基本保持，但边缘变得模糊，对比度不高，与背景渐近；换用 0.3mm 小孔后，图像变得极为模糊但还能勉强识辨，且亮度减小，分辨率低

解释：加上小孔滤去了高频信息，使得边缘不太清晰，而孔径越小，透过的代表图形轮廓的高频信息越少，那么图案亮度和分辨率越低。

### （3）非光轴衍射点形成的像



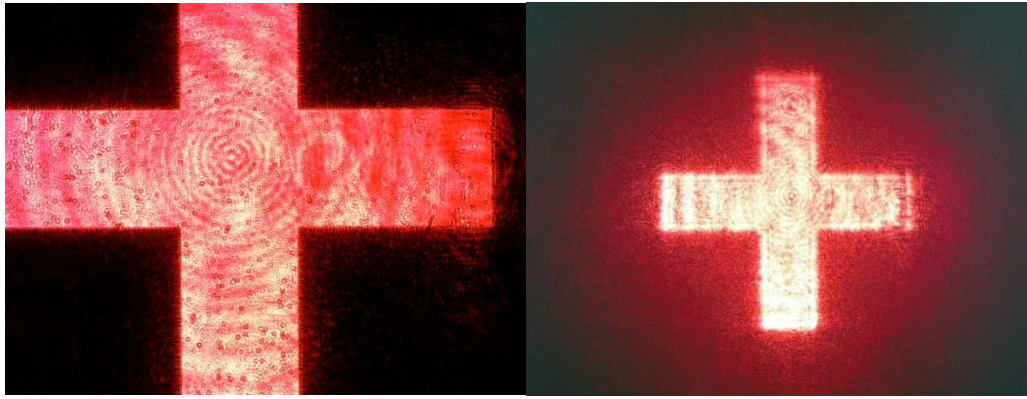
变化：图形亮度比光轴衍射点对应亮度低，且边缘钝化更严重，轮廓细节保留较少。

解释：非光轴衍射点较零级衍射点更暗，且同样未保留代表轮廓的高频信息。

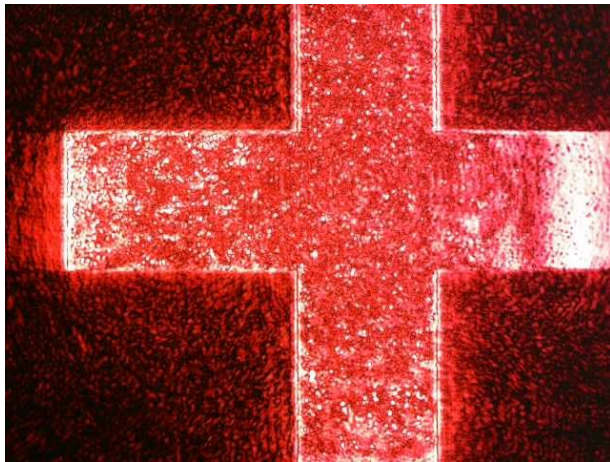
5. 将衍射物换成“十”字孔，在频谱面上放一圆屏光阑滤去频谱中心部分，观察并记录像面变化，并解释之。

### （1）像（左）及频谱（右）





(2) 圆屏光阑滤去频谱中心后的像

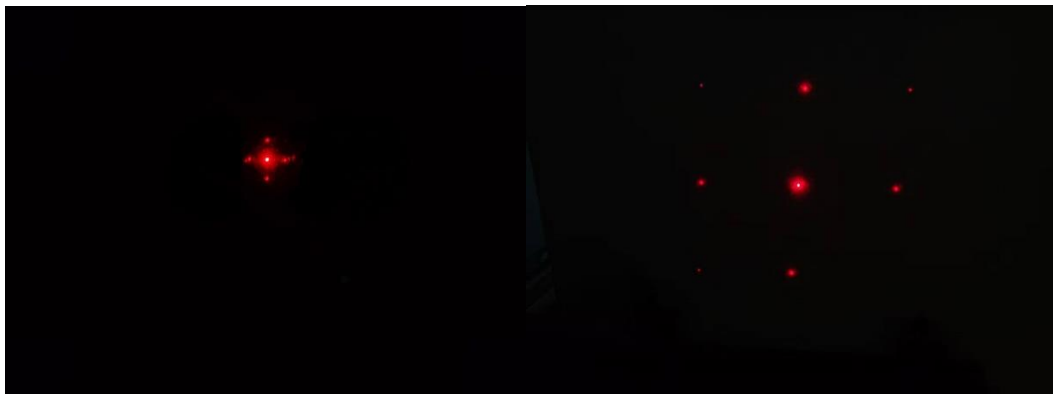


像面变化：十字中心亮区变暗，但边缘区域对比度更高，有相对增强的效果，总体上表现为十字轮廓。

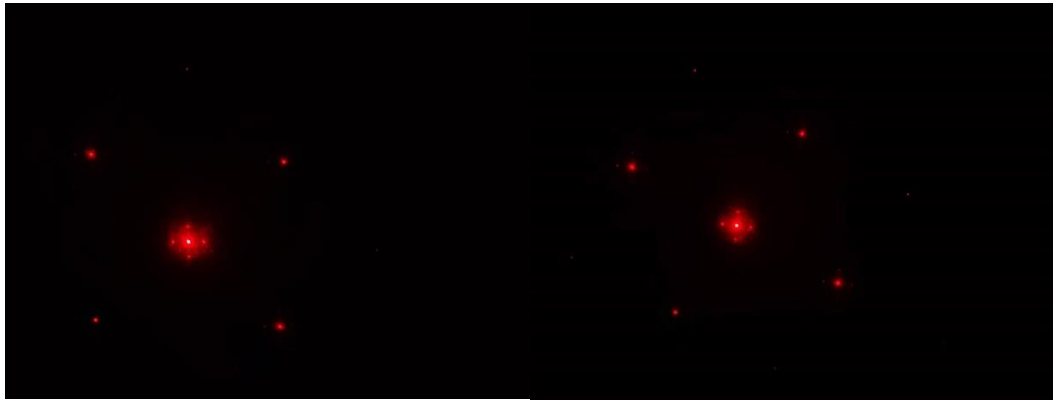
解释：频谱中心（低频）主要代表图像的整体图案，去除它后，逆变换只变换频谱高频部分，使得边缘变得更突出。

6. 用激光束分别照射 20 条/mm 和 200 条/mm 的两个正交光栅，观察各自的频谱分布并记录之。将两光栅重叠，观察并记录频谱特点。先后转动两光栅之一，观察并记录频谱面上的变化，并解释之。

(1) 20 条/mm 和 200 条/mm 的两个正交光栅各自频谱分布

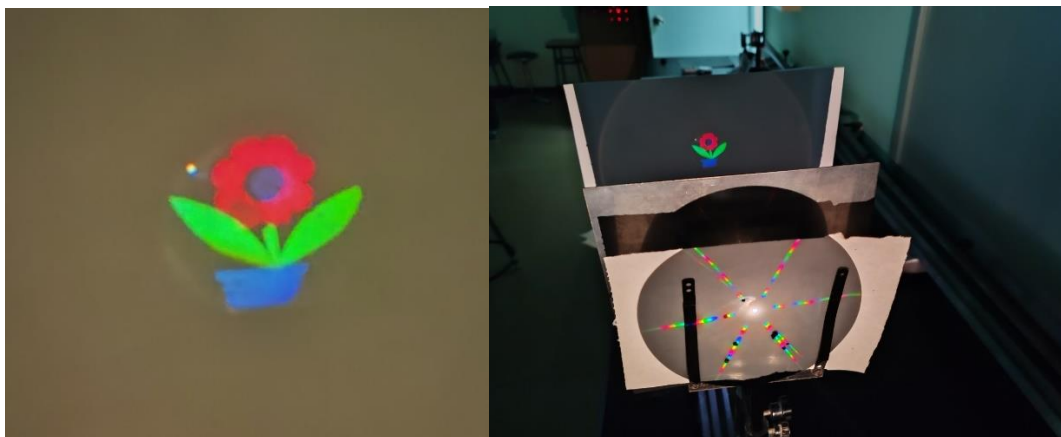


(2) 重叠后频谱（左）及转动其一后频谱（右）



当两光栅叠加时，每个低频衍射点周围分裂出密集点阵，形成一种周期性小集合的结构。旋转其一时，不动的光栅对应点阵排列（图中为小阵）保持不变，而旋转的光栅对应的点阵排列（图中为大阵）跟着旋转。

7. 观察 $\theta$ 调制现象，记录相应现象并解释之。



现象：频谱面上有三条衍射斑，用点燃的香戳破每条光斑，屏上对应位置出现小孔透过光的图案，最终呈现出花与花盆的图案。

解释：通光图形是花盆中的一枝花，其中花瓣，叶片，花盆部位叠加有不同取向的光栅。用白光照射时，照射物屏的不同部位，其在频谱面上的频谱成角度错落，并且不同频率的光在频谱面上也错开，形成彩色频谱。用点燃的香戳洞后，只让特定频率的光通过，最终经过透镜又还原为原来的形状，且使得不同部位的颜色不同。