

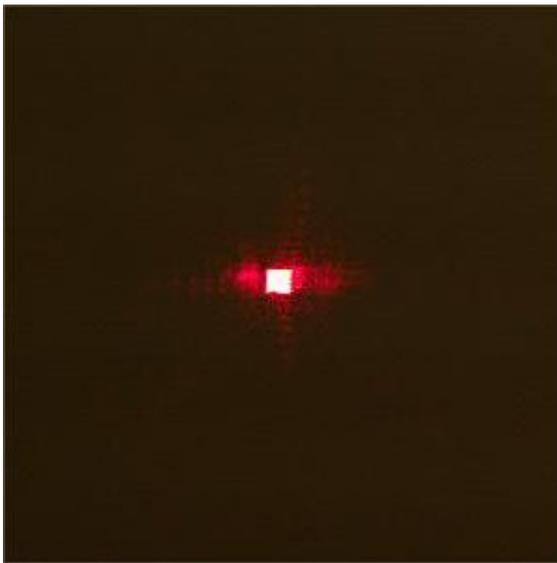
光信息处理

杨轶

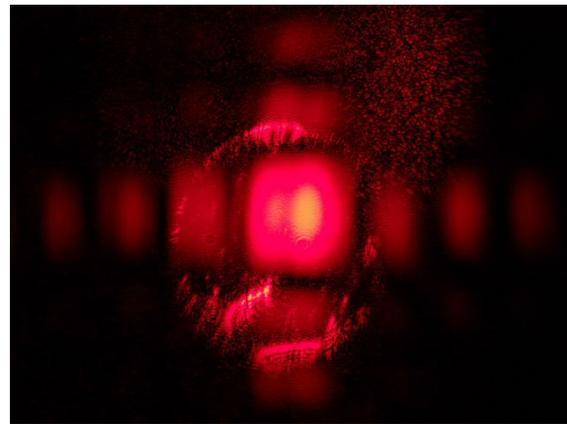
March 2024

1 不同结构的空空间频谱与像的分布

对于小孔方阵的频谱（如图 3、图 4、图 7、图 8），其整体的周期特征与二维周期结构（二维光栅或二维密铺）的类似，但耦合上单个小孔的衍射分布。小孔阵列的频谱特征为单个小孔的衍射分布与二维结构的频谱分布的乘积，这是由于小孔阵列的透过率函数是由单个小孔的透过率函数与二维结构的透过率函数卷积而得到的，由于卷积定理，原函数的卷积经过傅里叶变换后得到的为像函数的乘积，故频谱得到的是小孔频谱分布函数与二维周期结构频谱分布的乘积。

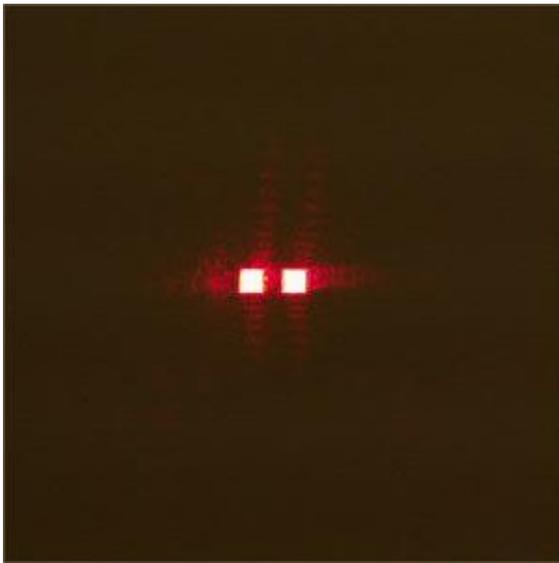


(a) 单方孔成像

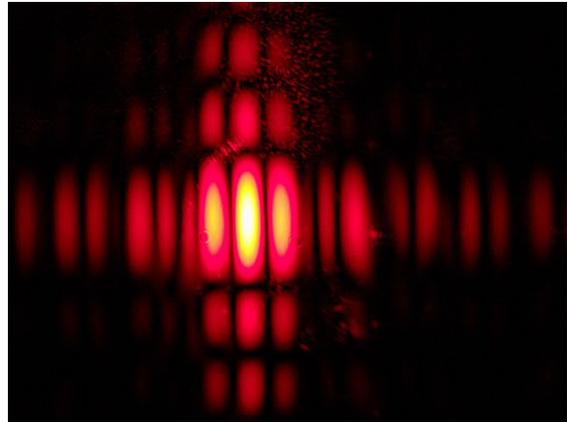


(b) 单方孔频谱

图 1: 单方孔

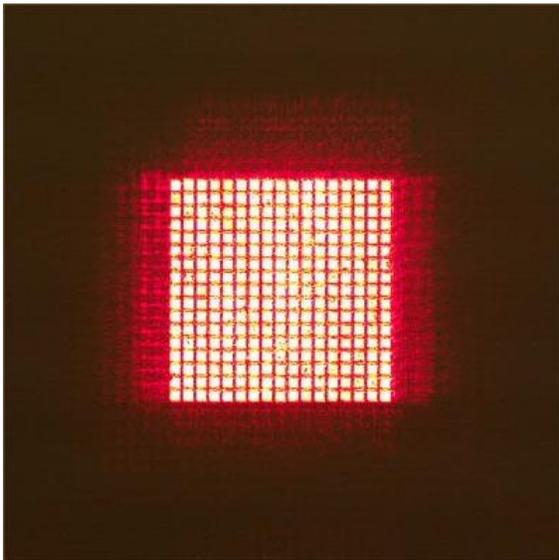


(a) 双方孔成像

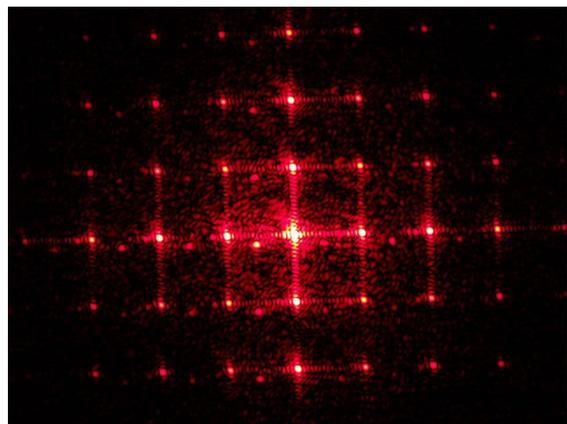


(b) 双方孔频谱

图 2: 双方孔

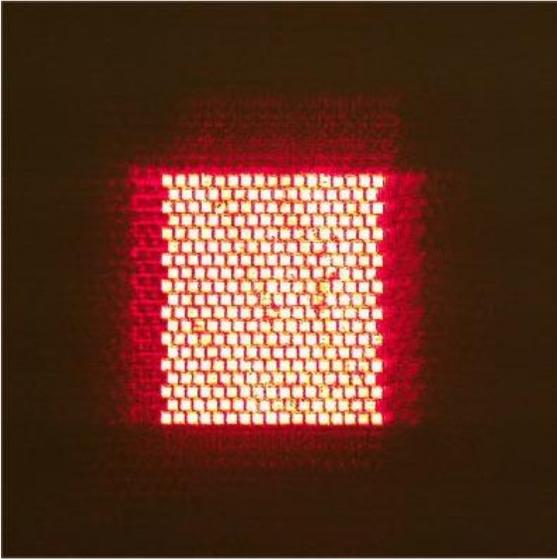


(a) 方孔方阵成像

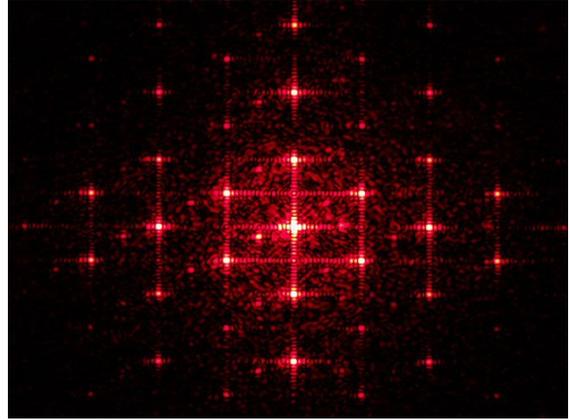


(b) 方孔方阵频谱

图 3: 方孔方阵



(a) 方孔密排成像

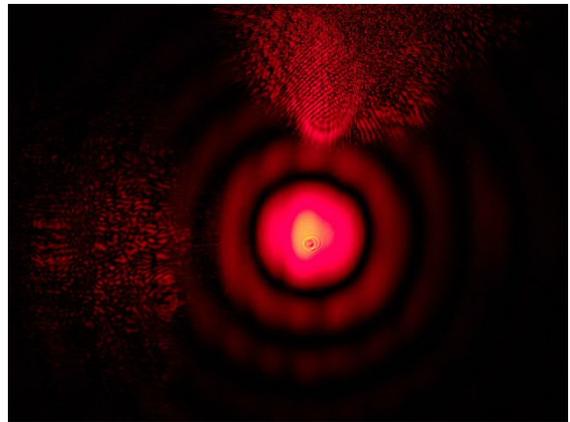


(b) 方孔密排频谱

图 4: 方孔密排



(a) 单圆孔成像

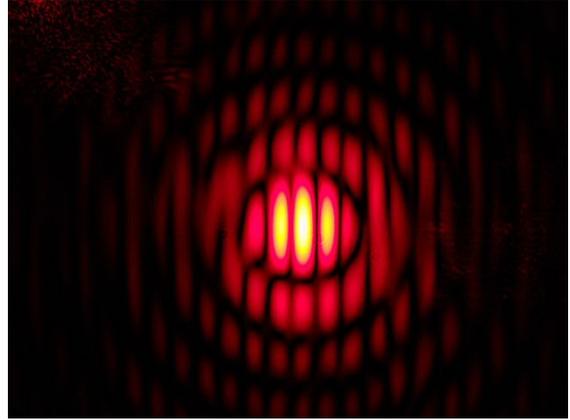


(b) 单圆孔频谱

图 5: 单圆孔

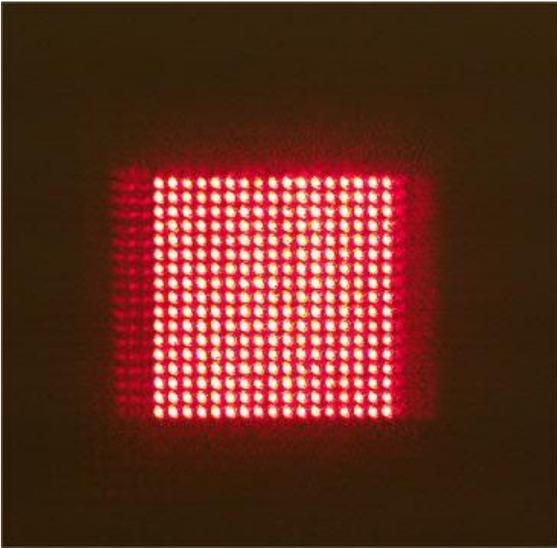


(a) 双圆孔成像

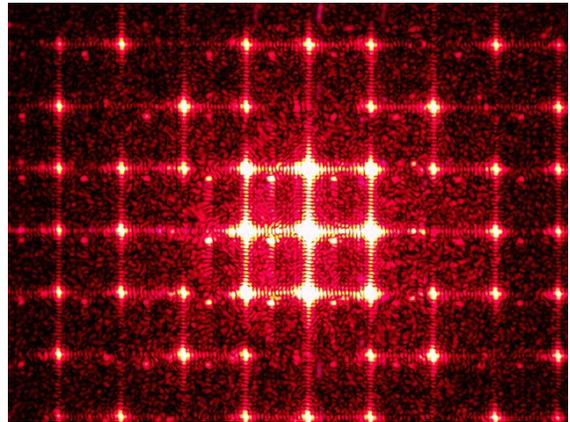


(b) 双圆孔频谱

图 6: 双圆孔

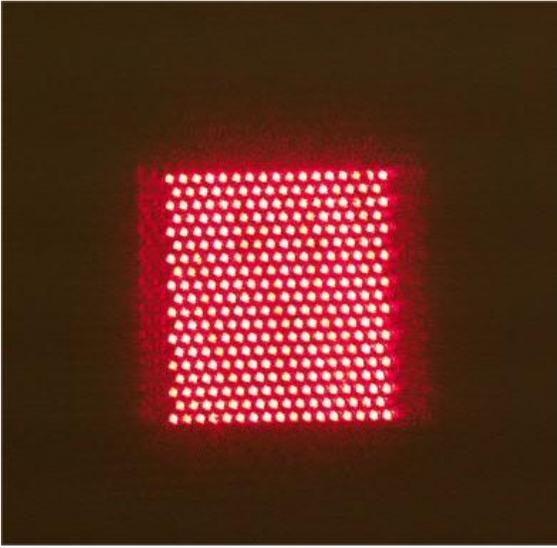


(a) 圆孔方阵成像

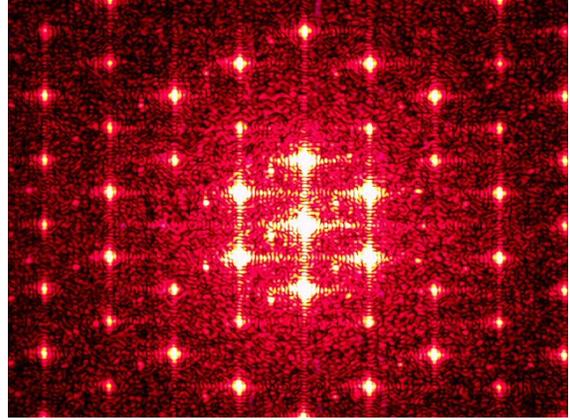


(b) 圆孔方阵频谱

图 7: 圆孔方阵

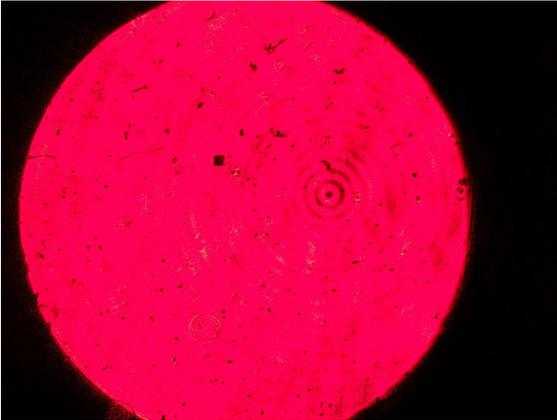


(a) 圆孔密排成像

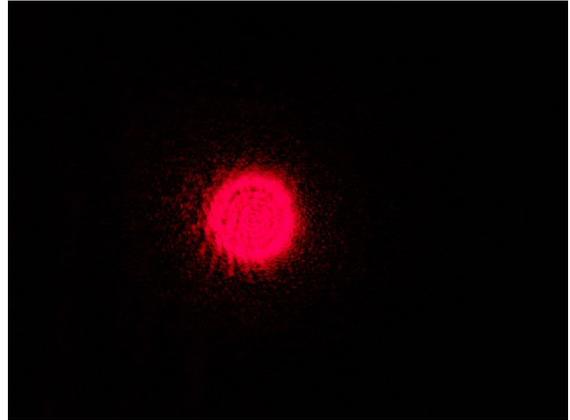


(b) 圆孔密排频谱

图 8: 圆孔密排

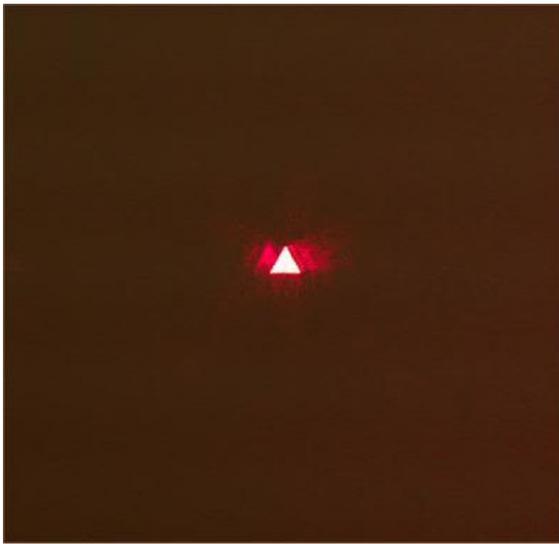


(a) 单方屏成像

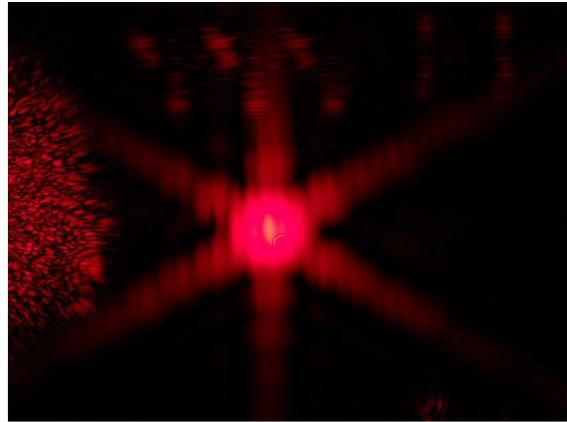


(b) 单方屏频谱

图 9: 单方屏



(a) 等边三角形孔成像

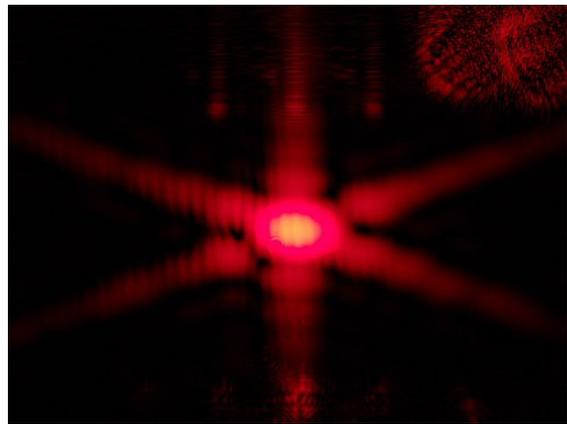


(b) 等边三角形孔频谱

图 10: 等边三角形孔

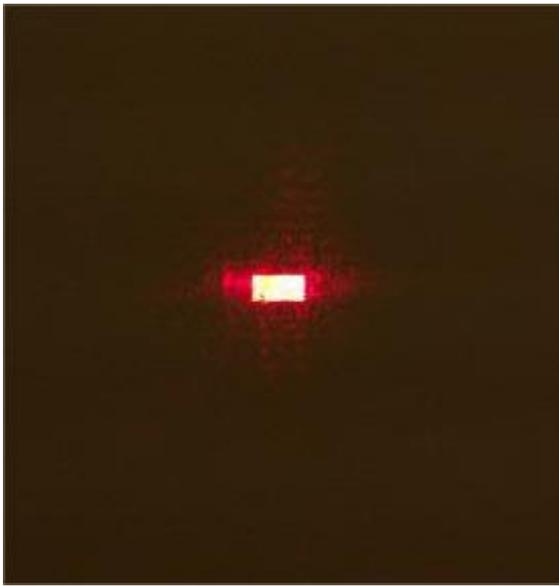


(a) 等腰三角形孔成像

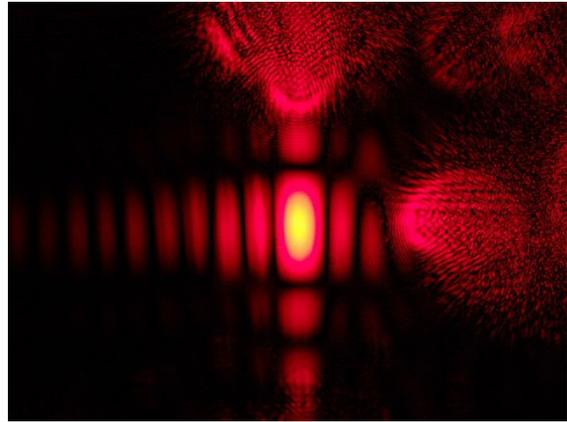


(b) 等腰三角形孔频谱

图 11: 等腰三角形孔

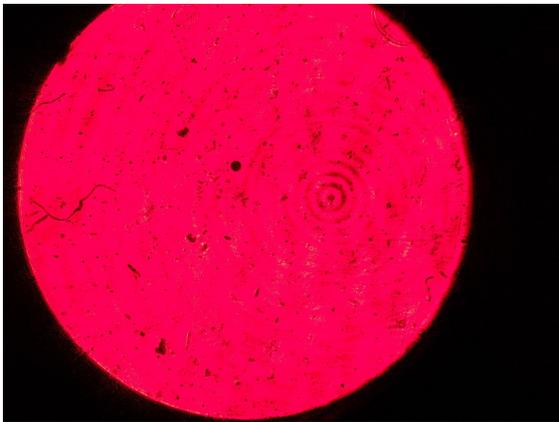


(a) 矩形孔成像

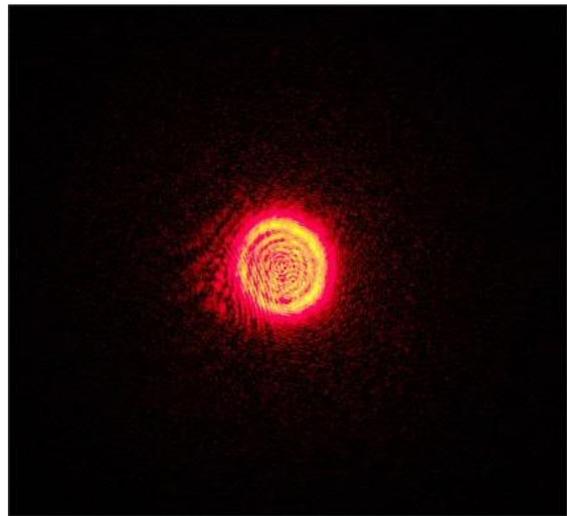


(b) 圆孔方阵频谱

图 12: 矩形孔

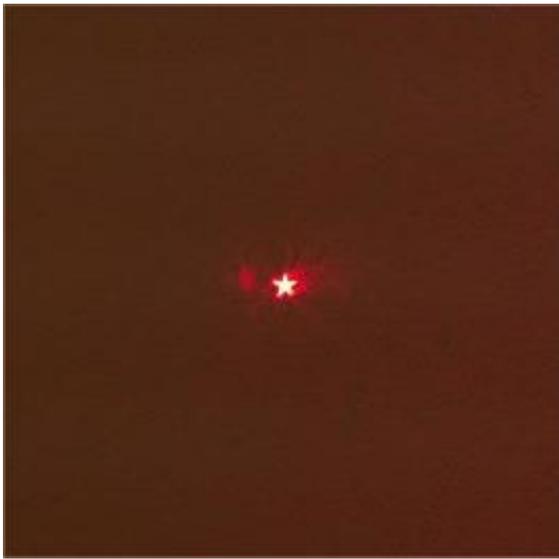


(a) 单圆屏成像

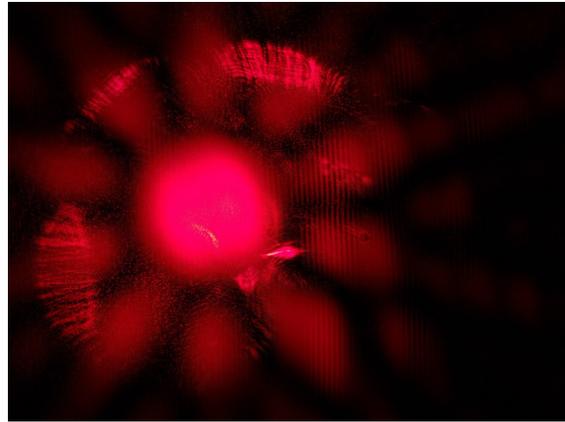


(b) 单圆屏频谱

图 13: 单圆屏

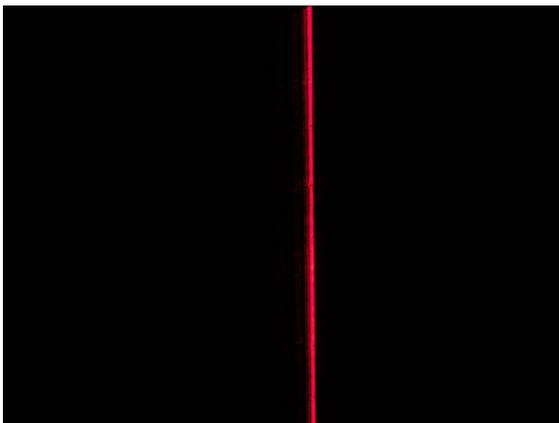


(a) 五角星孔成像

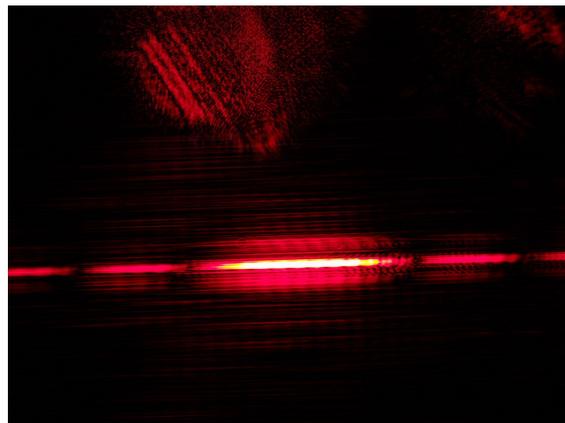


(b) 五角星孔频谱

图 14: 五角星孔

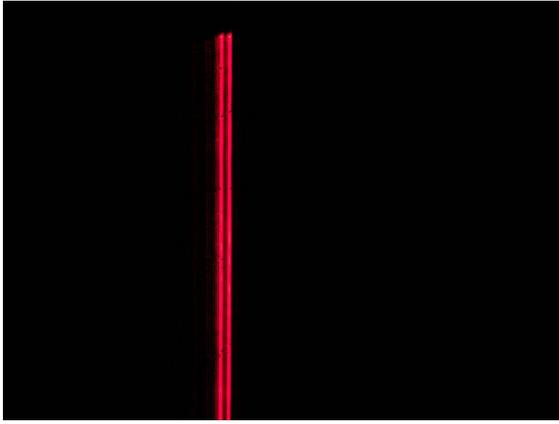


(a) 单缝成像

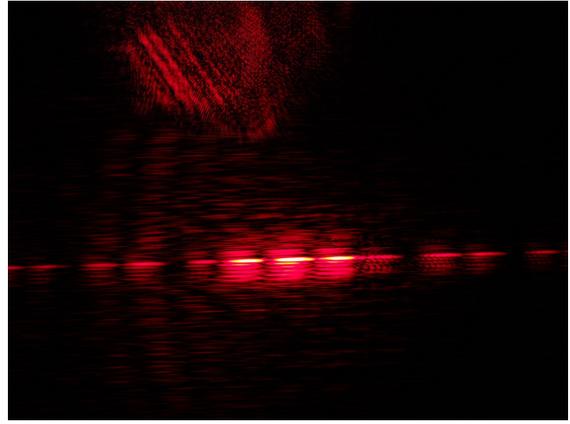


(b) 单缝频谱

图 15: 单缝

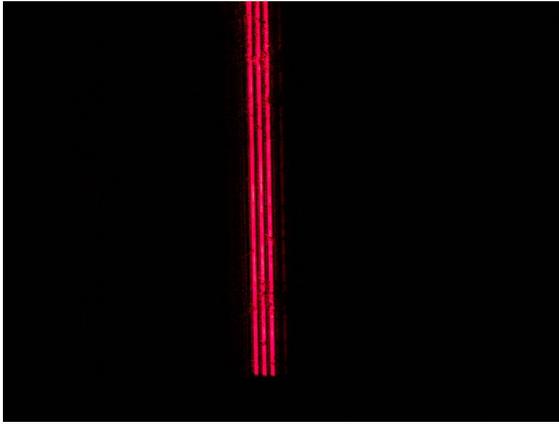


(a) 双缝成像

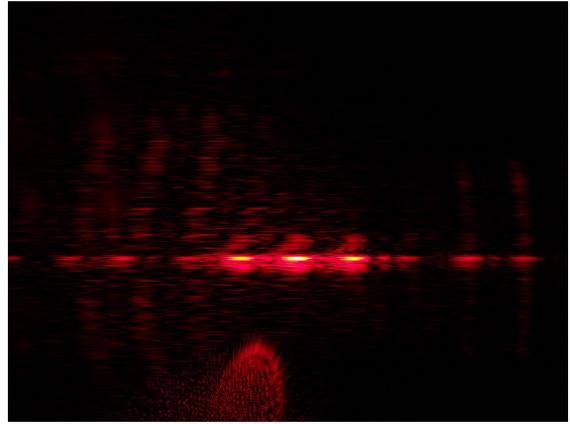


(b) 双缝频谱

图 16: 双缝

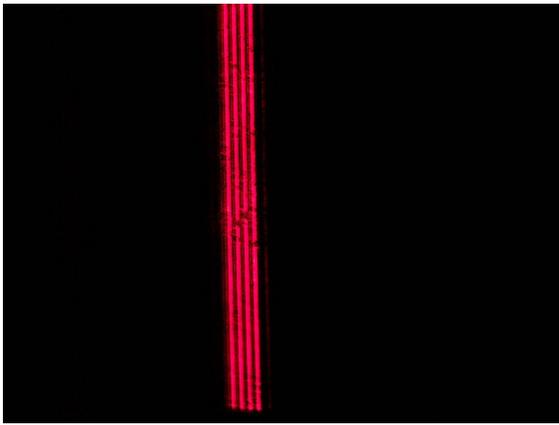


(a) 三缝成像

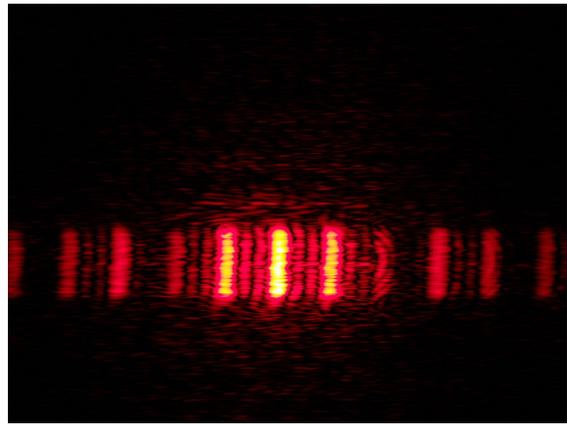


(b) 三缝频谱

图 17: 三缝

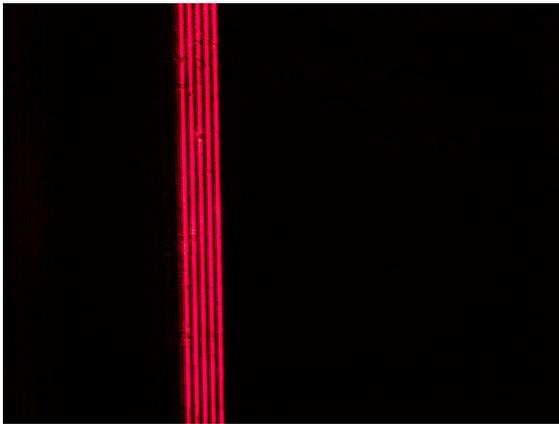


(a) 四缝成像

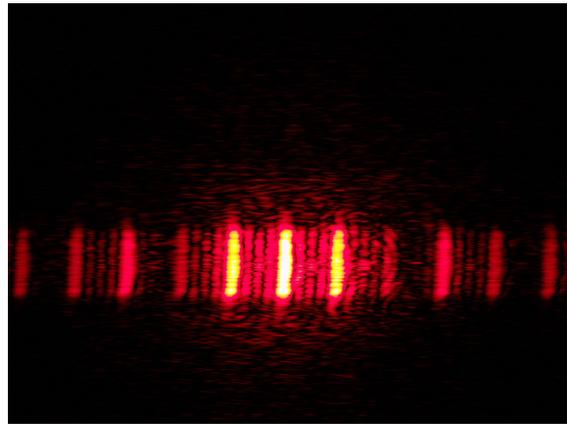


(b) 四缝频谱

图 18: 四缝

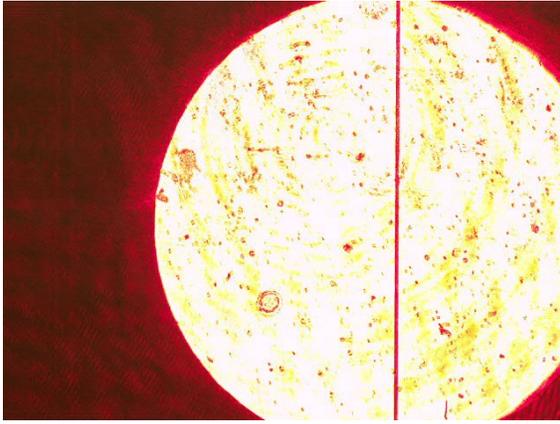


(a) 五缝成像

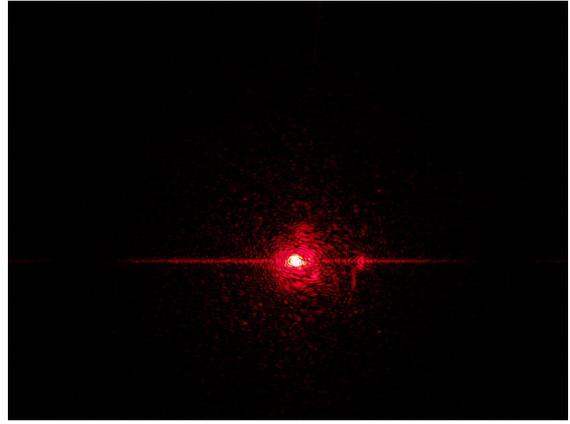


(b) 五缝频谱

图 19: 五缝

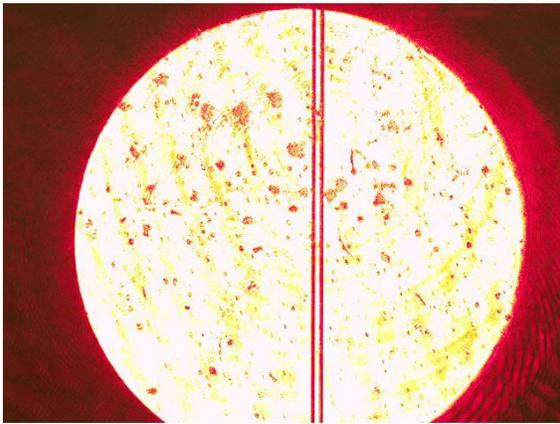


(a) 单丝成像

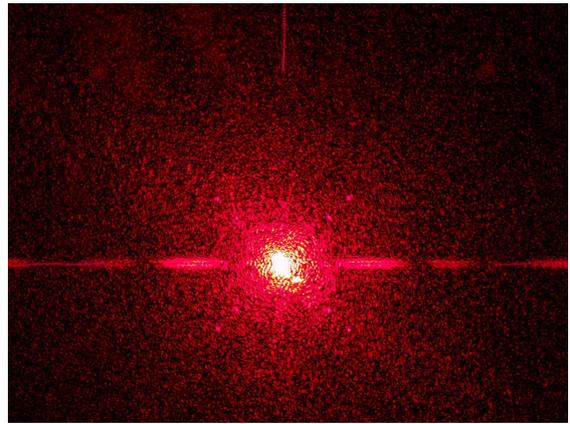


(b) 单丝频谱

图 20: 单丝

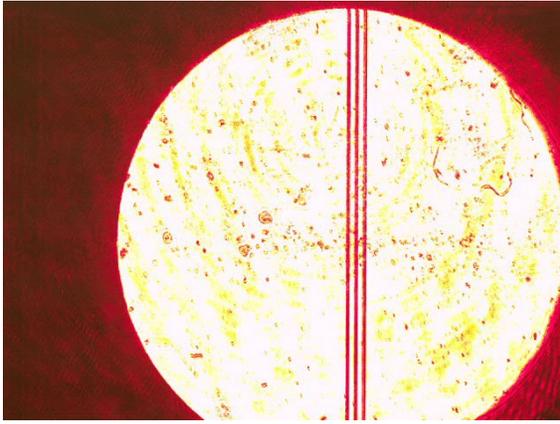


(a) 双丝成像

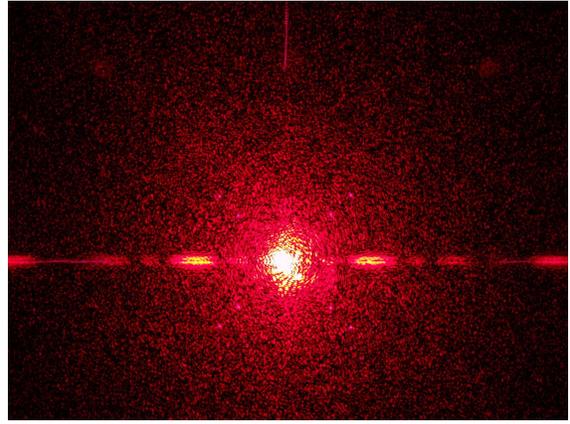


(b) 双丝频谱

图 21: 双丝

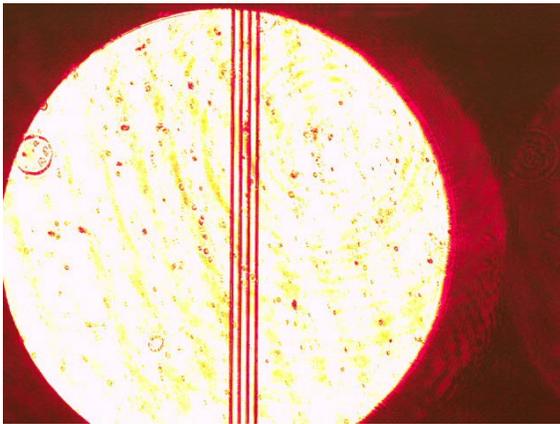


(a) 三丝成像

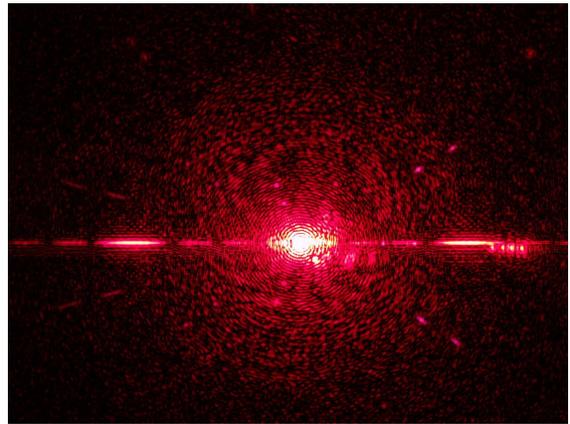


(b) 三丝频谱

图 22: 三丝

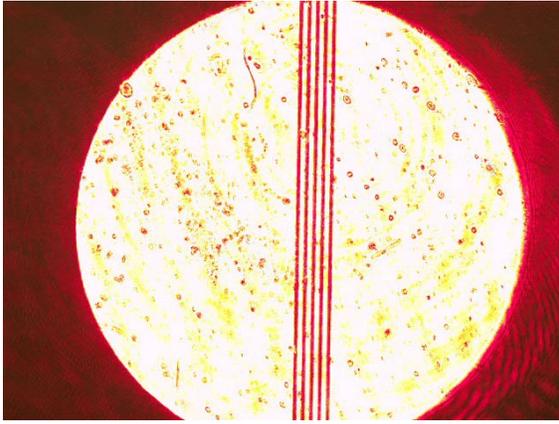


(a) 四丝成像

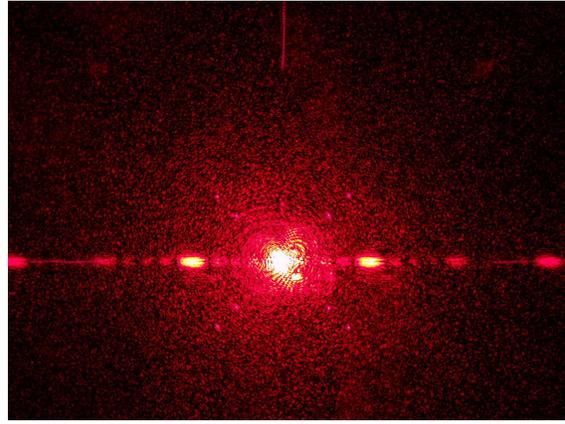


(b) 四丝频谱

图 23: 四丝



(a) 五丝成像



(b) 五丝频谱

图 24: 单丝

2 一维光栅

2.1 光栅周期的测量

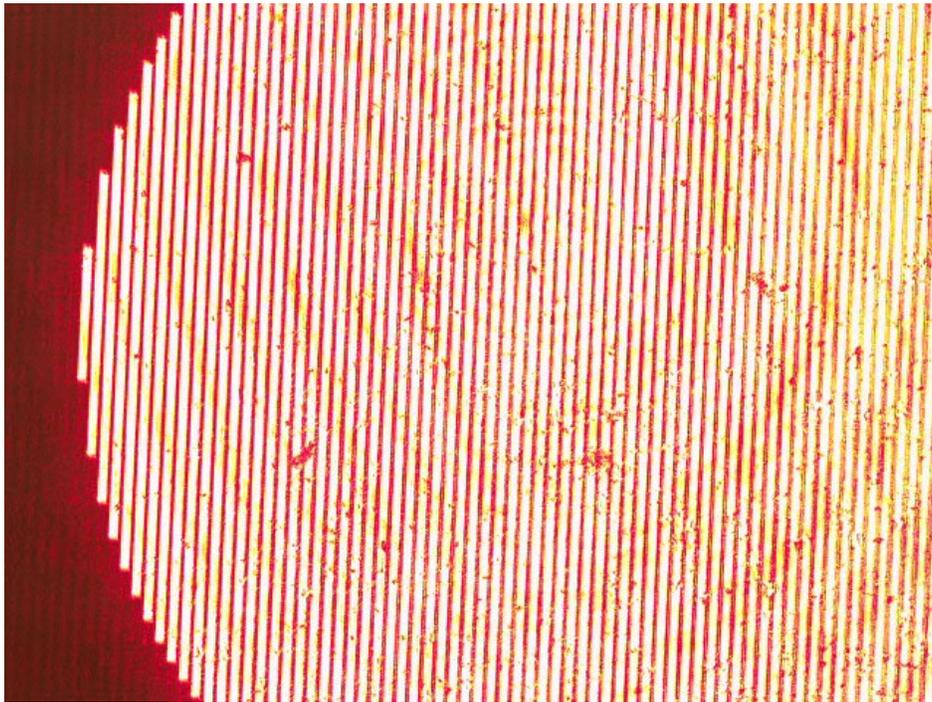


图 25: 一维光栅成像

测量 17 个光栅间距为 $17d = 149.73px \times 1.43 \mu\text{m}/\text{px}$, $d = 12.59 \mu\text{m}$, 光栅周期 $d^{-1} = 794 \text{cm}^{-1}$

2.2 对一维光栅的空间滤波

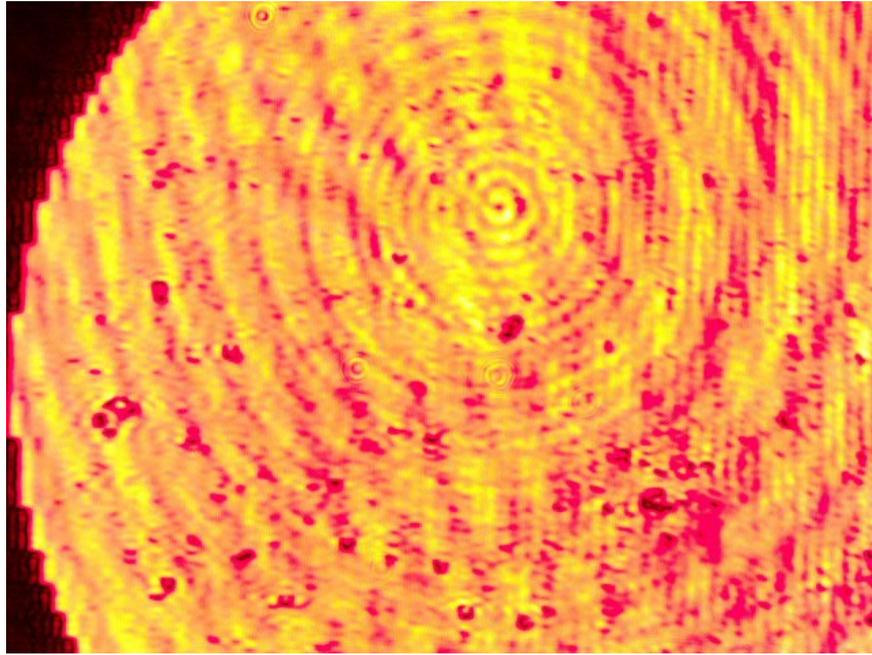


图 26: 一维光栅只过 0 级

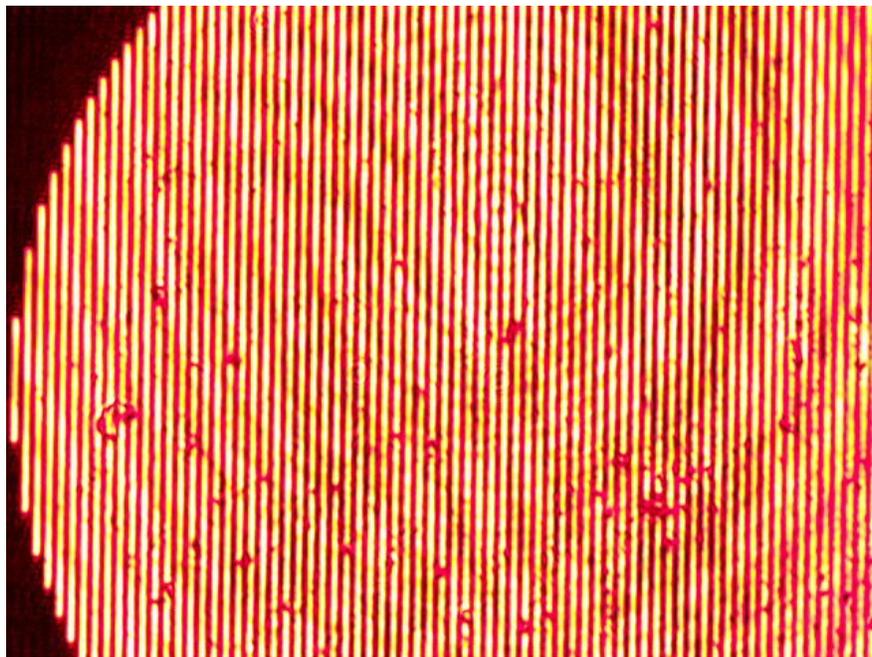


图 27: 一维光栅过 0、 ± 1 级

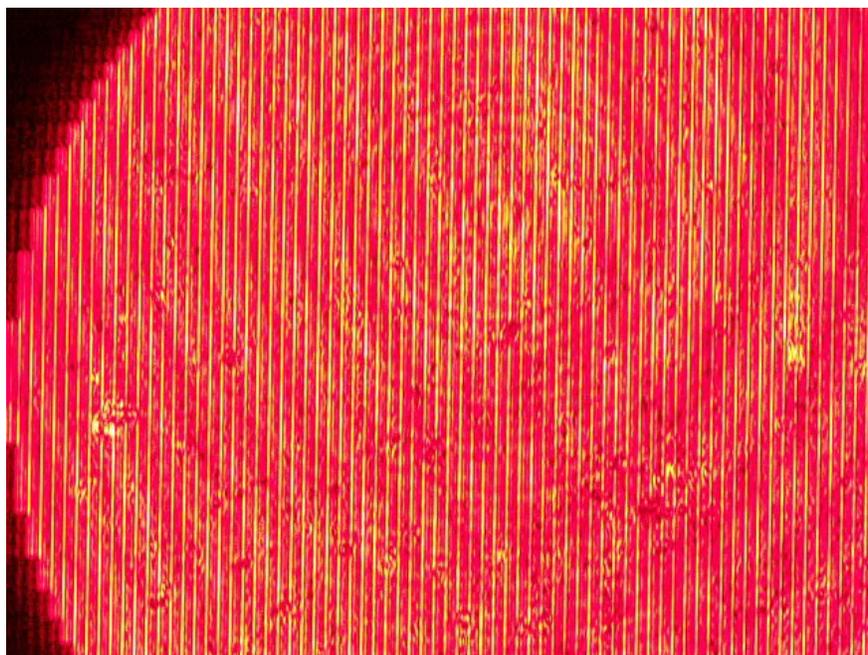


图 28: 一维光栅挡 0 级

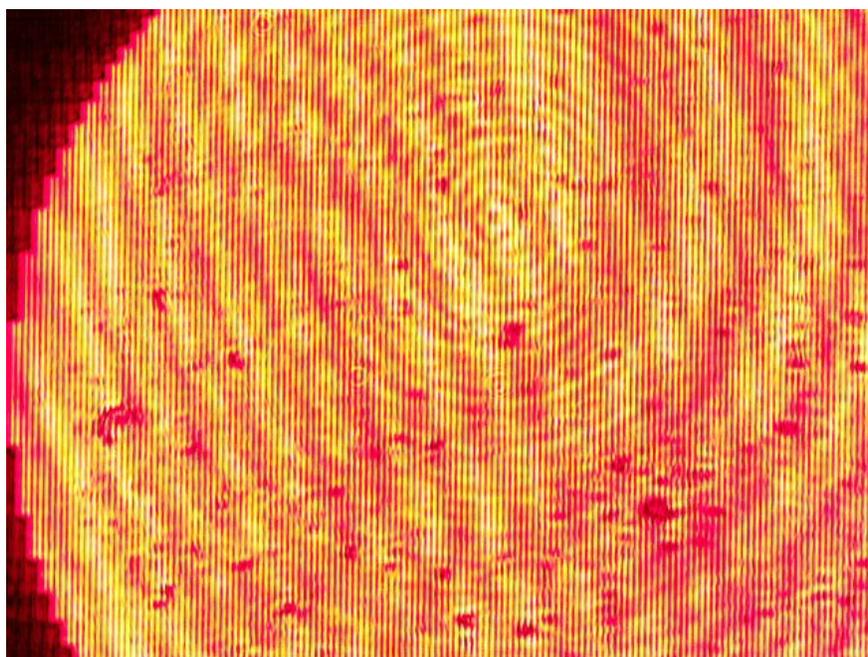


图 29: 一维光栅挡 ± 1 级

图 26 为滤波时只让 0 级通过的情形，很显然可以看出并没有光栅周期结构的出现，这是因为 0 级的信息为物屏均匀发光，图上的圆形衍射条纹我认为是光阑导致的。

图 27为滤波时只让 0 级与 ± 1 级通过的情形，此时过滤掉高频部分，留下的为光栅周期的频率，可以看到此时得到的图像与光栅的像（图 25）几乎一样，但由于丢失了高频信息，明暗交接面变得模糊。

图 28为滤波时只不让 0 级通过的情形，此时的空间频率可以看到与光栅原空间频率（如图 25所示）一致，但是明暗关系反转。这是由于滤掉了 0 级部分后，复振幅改变所造成的。

图 29为滤波时只不让 ± 1 级通过的情形，此时可见空间频率比光栅原空间频率更高，这是由于滤掉了代表原光栅频率的 ± 1 级，留下的更高的频率，自然会带来更高的空间频率。

3 二维光栅

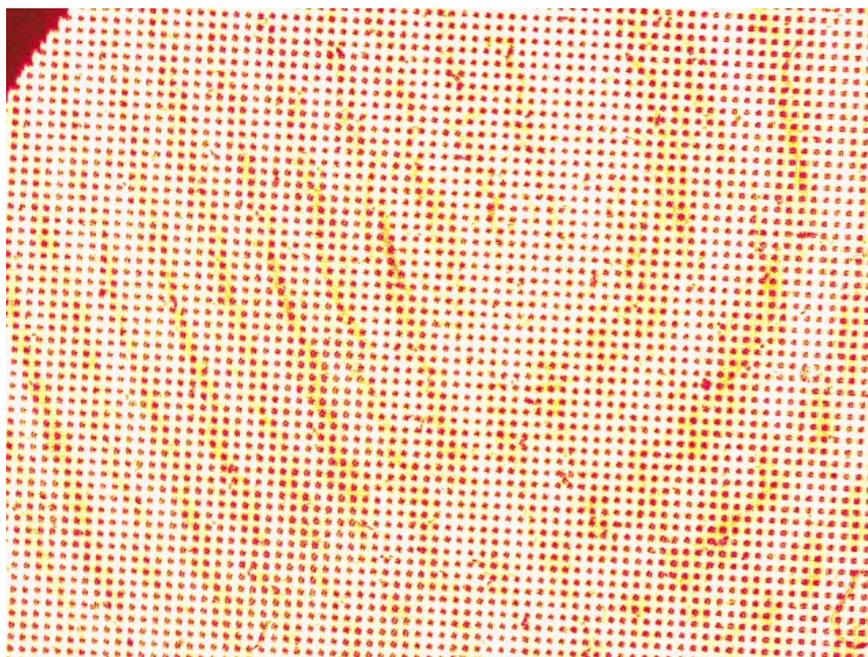


图 30: 二维光栅成像

图 31为用竖直的狭缝对二维光栅进行滤波所得到的情形，可见得到的像丢失了水平方向的高频信息，只留下水平方向的平行直线。图 32与图 33所示的两种情况是类似的，滤掉垂直于狭缝方向的高频信息，只留下平行于狭缝的高频信息，所以在图 32上看到的是竖直方向的条纹，而在图 33中看到的是斜向的条纹。

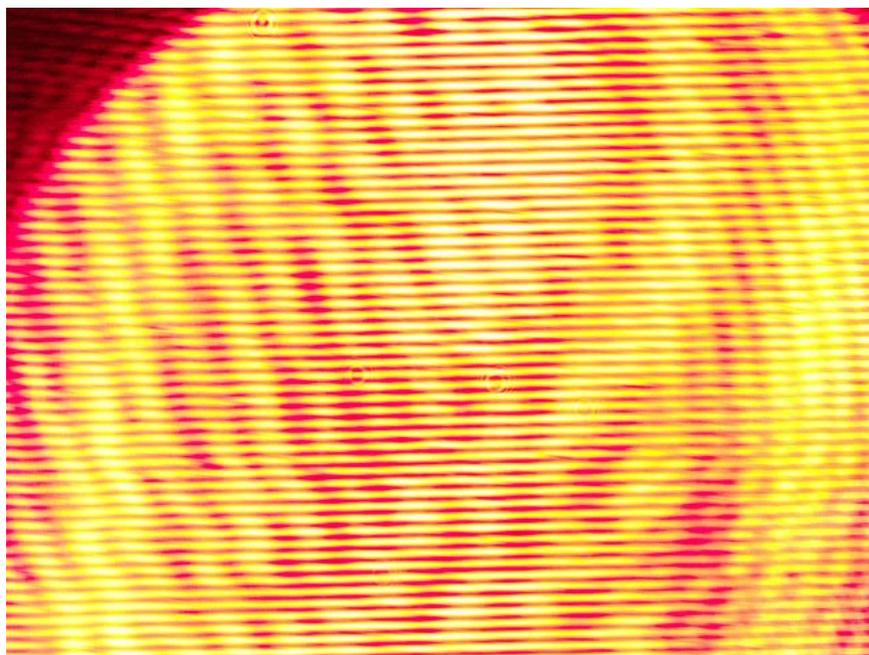


图 31: 二维光栅垂直狭缝滤波

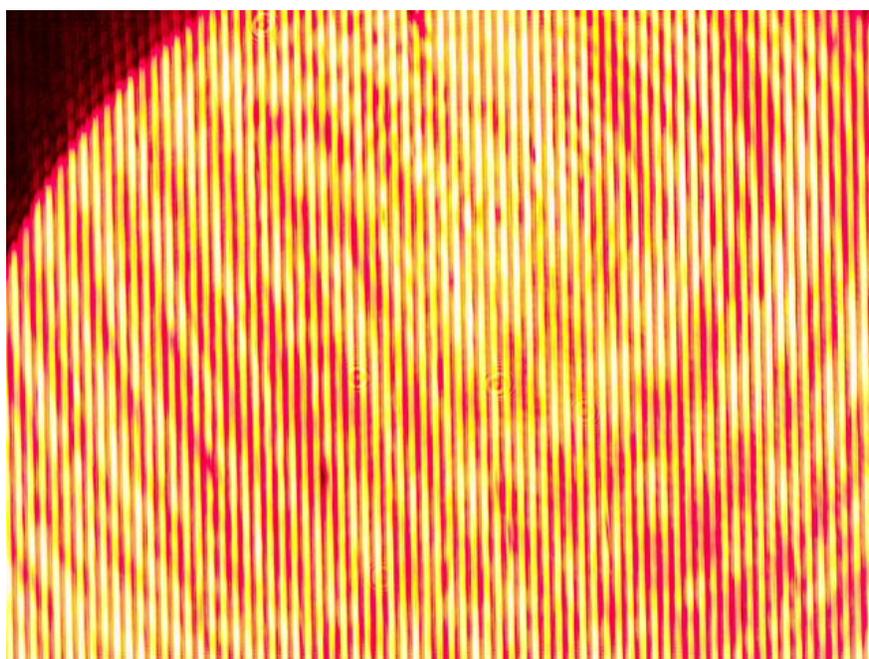


图 32: 二维光栅水平狭缝滤波

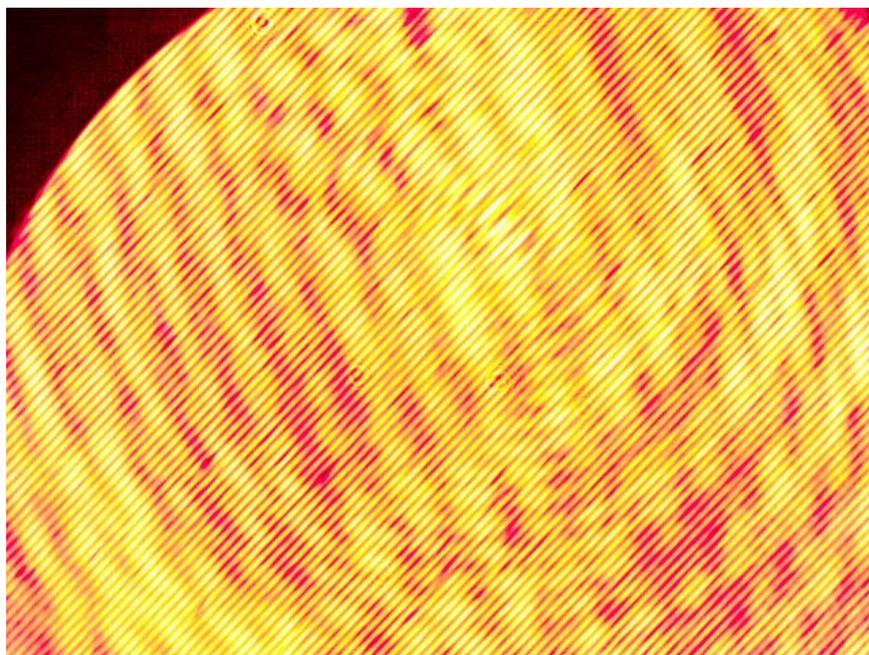
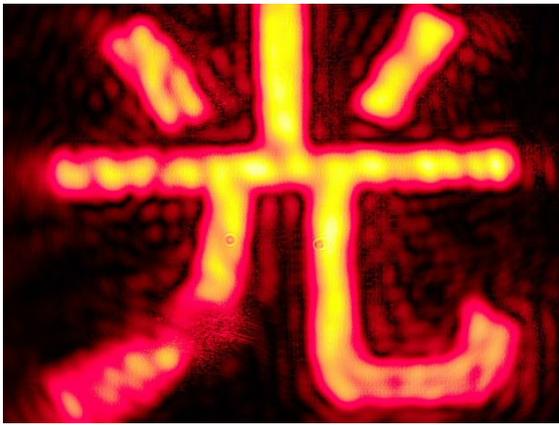


图 33: 二维光栅斜向狭缝滤波

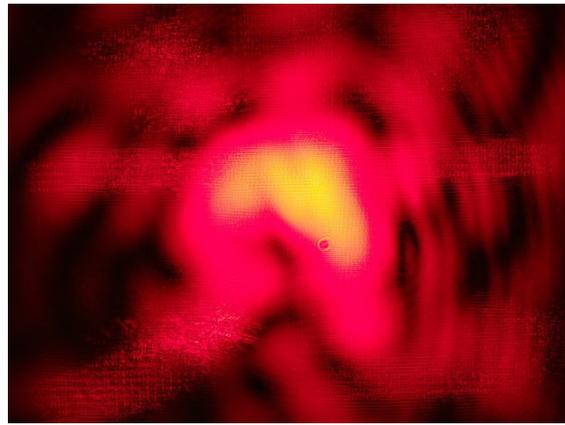
4 “光”字叠加二维光栅



图 34: ”光”字成像

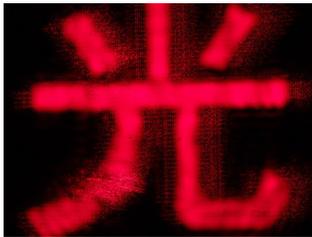


(a) “光”字用直径 $\phi = 1\text{ mm}$ 的小孔滤波

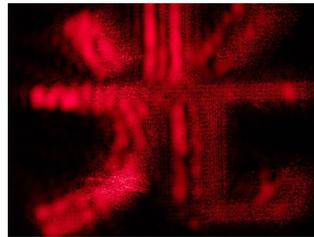


(b) “光”字用直径 $\phi = 0.3\text{ mm}$ 的小孔滤波

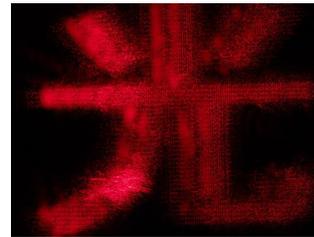
图 35: 通过小孔对“光”字滤波



(a) (0,1) 级衍射斑通过



(b) (1,0) 级衍射斑通过



(c) (1,1) 级衍射斑通过

图 36: 通过不在光轴上的直径为 $\phi = 1\text{ mm}$ 小孔对“光”字滤波

在图 35 中两图均是通过小孔对“光”字进行滤波，其中 $\phi = 1\text{ mm}$ 的小孔可以保留“光”字的就大部分低频成分，并且可以滤掉高频成分，所以可以看到图 34 中的二维光栅部分是看不到的，且边界也因此变得模糊。而当孔的直径更小之后，我们并不能观测到完整的“光”字，这是因为，“光”字的一部分低频信息也没有能够通过，所以最后不能看到完整的图像。

在图 36 中分别使 (0,1)、(1,0)、(1,1) 级衍射斑通过小孔，由于只有一种频率成分通过，故我们看到的“光”字并不能观测到条纹。

5 十字孔

在图 38 中我们可以看到相较于图 37，十字像中间的亮度显著降低，但是边缘依然清晰。这是因为在中心主要为低频频谱信息，而在边缘处由于突变则主要为高频信息。在通过圆孔光阑后，低频信息被滤掉，留下高频信息，所以十字中心暗边缘亮。

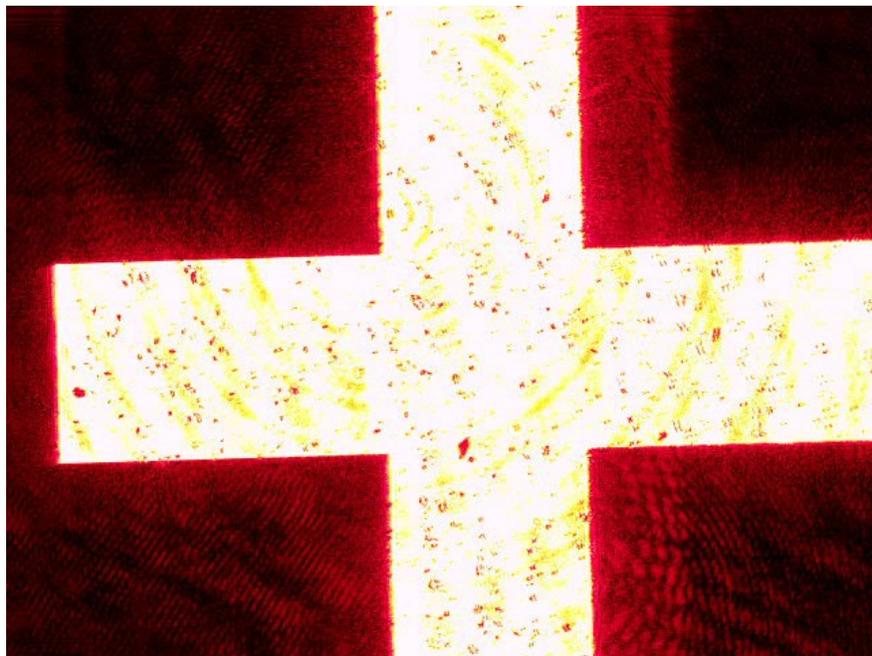


图 37: 十字孔成像

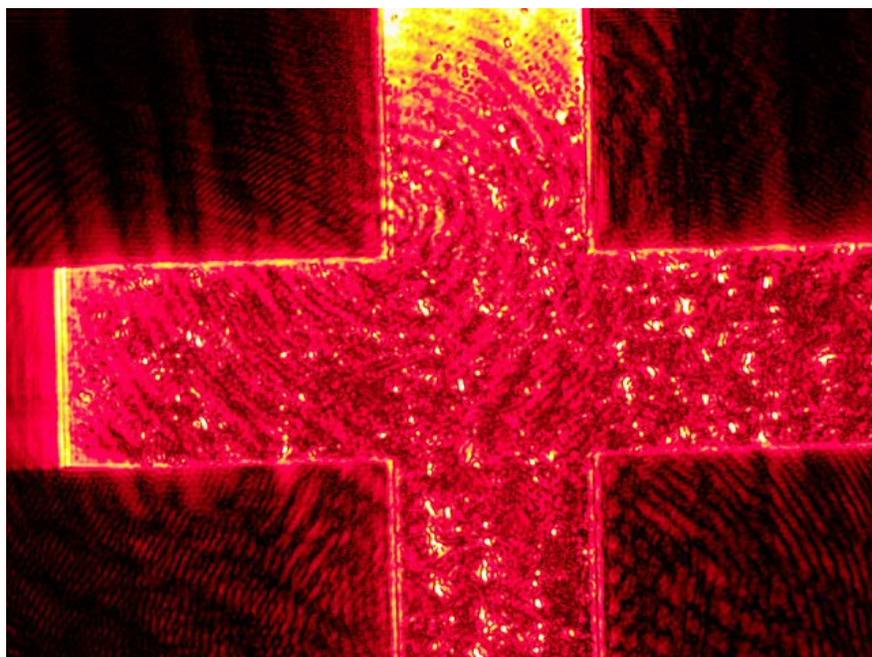


图 38: 通过圆屏光阑后的十字

6 两个光栅的叠加

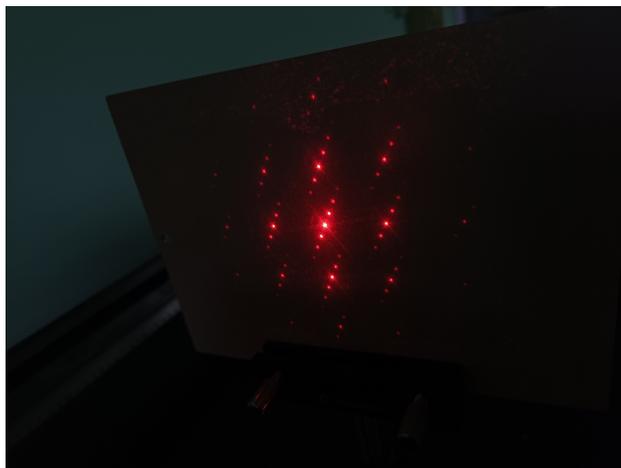


图 39: 重叠的一维光栅与二维光栅

根据卷积定理，两个乘积的原函数傅里叶变换后为两个像函数的卷积。将两个光栅叠在一起可以看作是将两个透射率函数乘在了以及，所以通过变换后得到的即为两个光栅频谱的卷积形式，即在二维光栅的频谱分布周围有着一维光栅的频谱分布，如图 39所示。将一维光栅进行旋转，像面上的二维光栅频谱点阵周围的点也会绕着旋转。

7 θ 调制

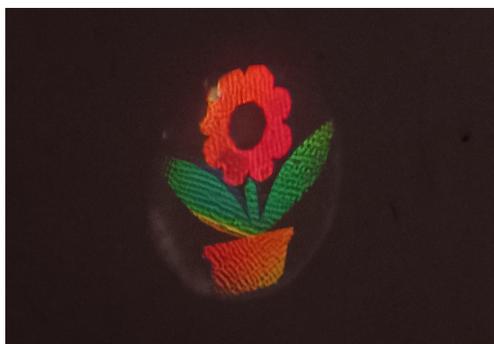


图 40: θ 调制效果图

θ 调制实验使用白光进行照明，由于不同颜色的光的频率不同，所以对应的空间频率也不一样，这样通过傅里叶变换在频谱面上得到的各种颜色会分离开来，那么我们便可以通过在挡在频谱面上的白纸上开孔，使得特定颜色的光通过，最后在像面上得到彩色的图像，如图 40。