

光信息处理

1 实验现象记录与数据处理

1.1 不同结构的空空间频谱与像的分布

小孔阵列的频谱分布特征为: 整体的形状和单个小孔的衍射分布类似, 而细节处与二维光栅和二维密铺的衍射分布类似, 即小孔阵列的频谱分布是单元小孔的频谱分布与二维结构的频谱分布的乘积。这是因为小孔阵列的结构可以由小孔和二维结构的透过率函数卷积得到, 而根据卷积定理, 原函数的卷积经过傅里叶变换之后表现为像函数的乘积。



图 1: 一 1 单方孔 频谱

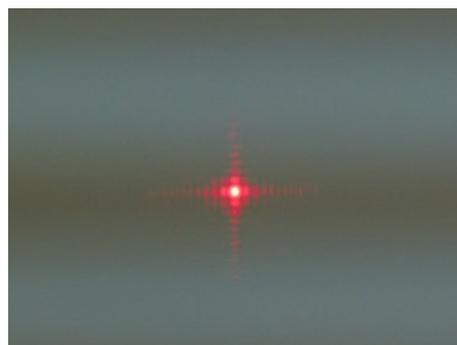


图 2: 一 1 单方孔 成像

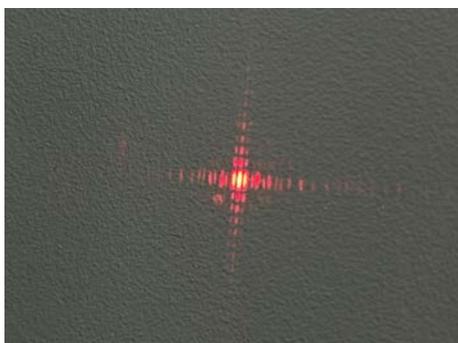


图 3: 一 2 双方孔 频谱

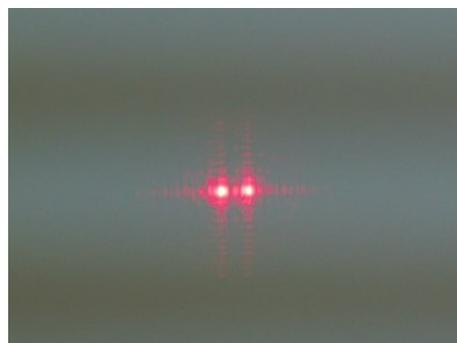


图 4: 一 2 双方孔 成像

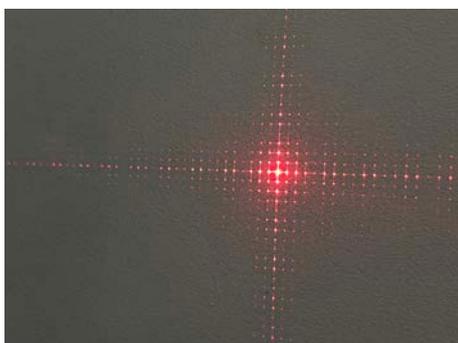


图 5: 一 3 方孔方阵 频谱

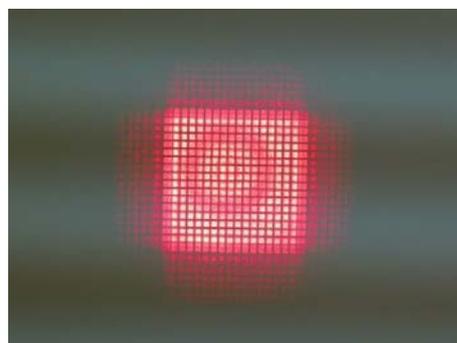


图 6: 一 3 方孔方阵 成像

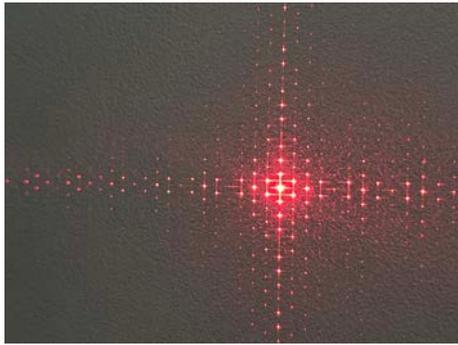


图 7: 一 4 方孔密排 频谱

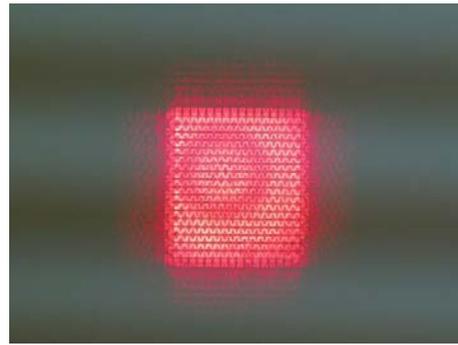


图 8: 一 4 方孔密排 成像

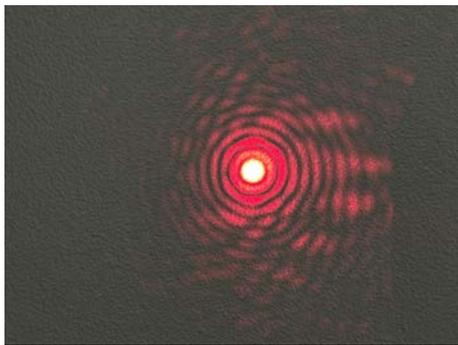


图 9: 一 5 单圆孔 频谱

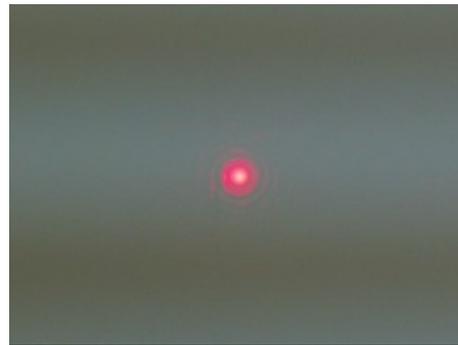


图 10: 一 5 单圆孔 成像

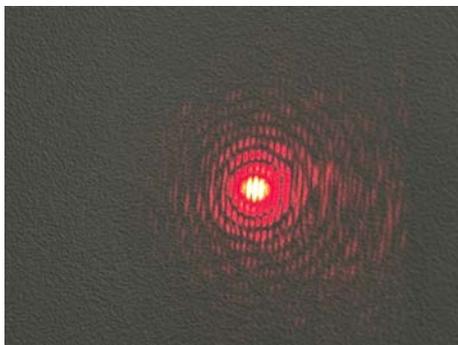


图 11: 一 6 双圆孔 频谱



图 12: 一 6 双圆孔 成像

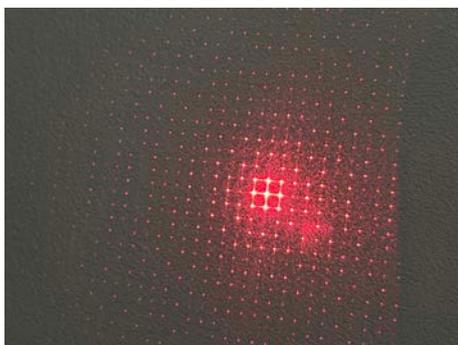


图 13: 一 7 圆孔方阵 频谱

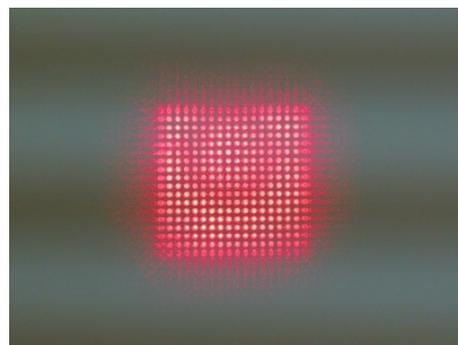


图 14: 一 7 圆孔方阵 成像

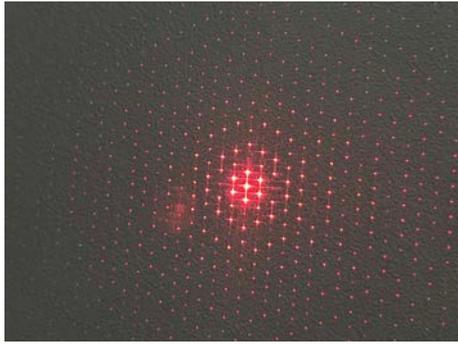


图 15: 一 8 圆孔密排 频谱

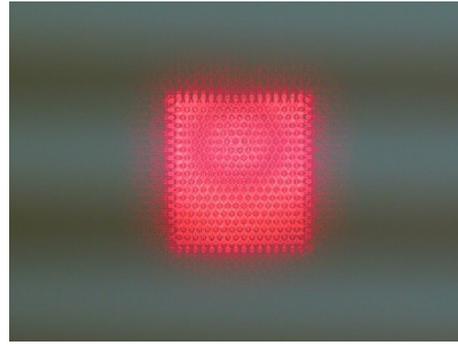


图 16: 一 8 圆孔密排 成像

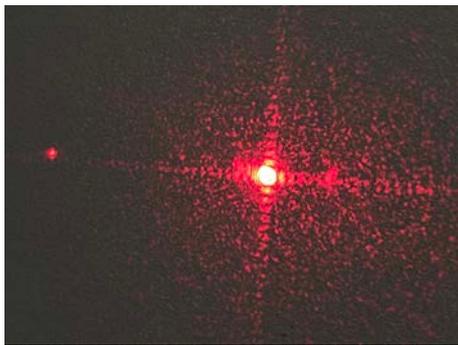


图 17: 二 1 单方屏 频谱

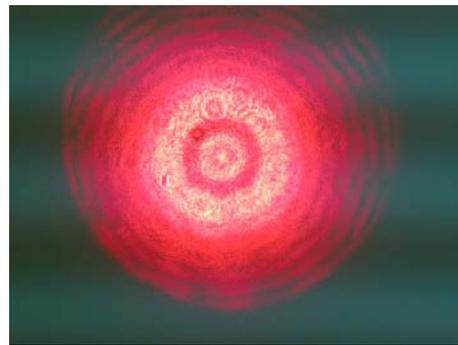


图 18: 二 1 单方屏 成像

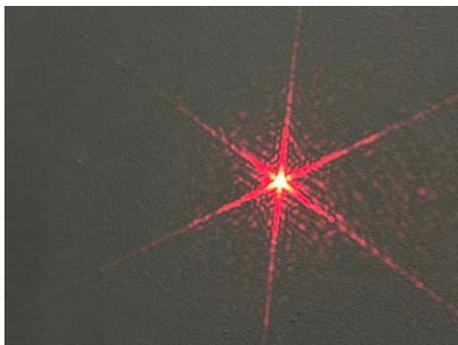


图 19: 二 2 等边三角孔 频谱

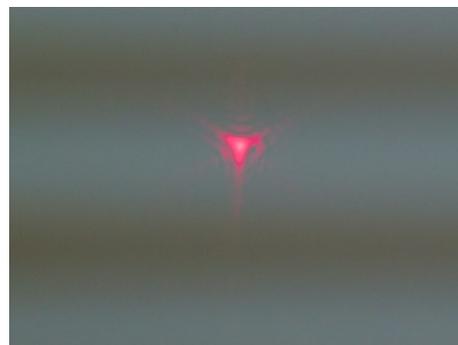


图 20: 二 2 等边三角孔 成像

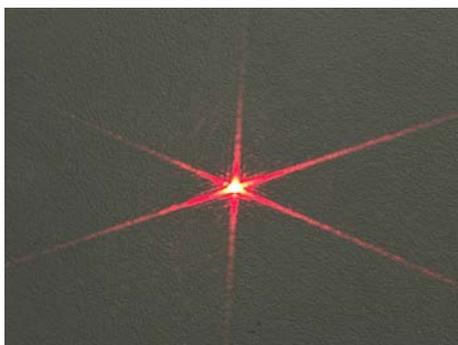


图 21: 二 3 等腰三角孔 频谱



图 22: 二 3 等腰三角孔 成像

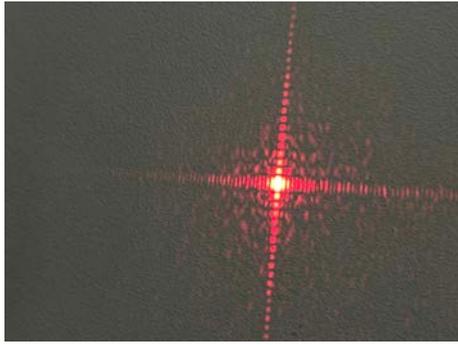


图 23: 二 4 矩形孔 频谱

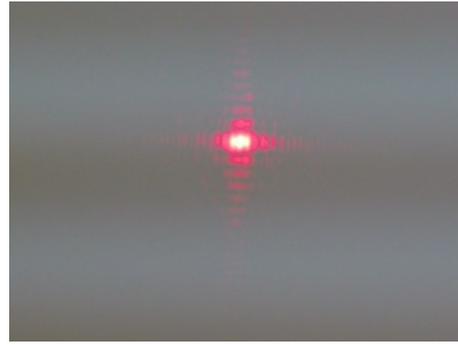


图 24: 二 4 矩形孔 成像

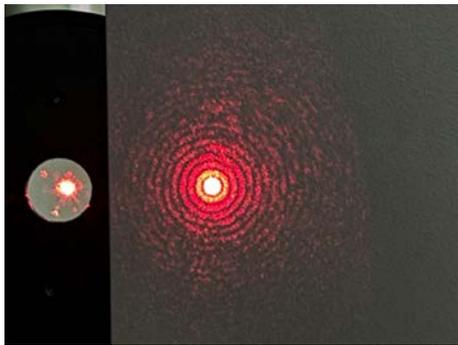


图 25: 二 5 单圆屏 频谱

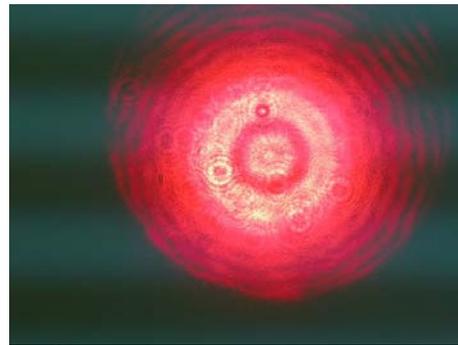


图 26: 二 5 单圆屏 成像

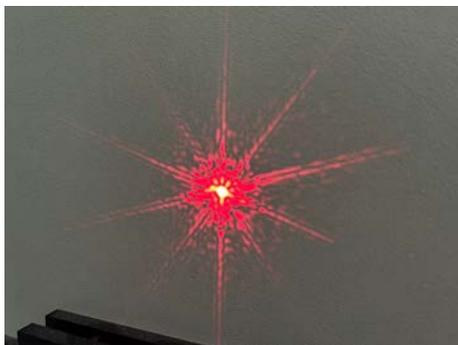


图 27: 二 6 五角星孔 频谱



图 28: 二 6 五角星孔 成像

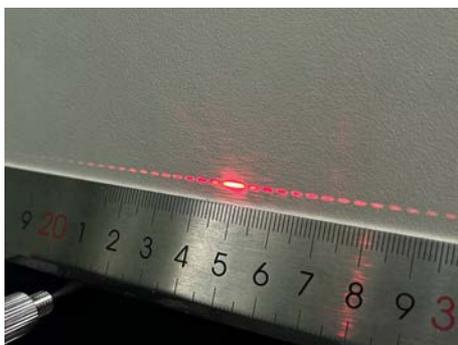


图 29: 二 7 单缝 频谱

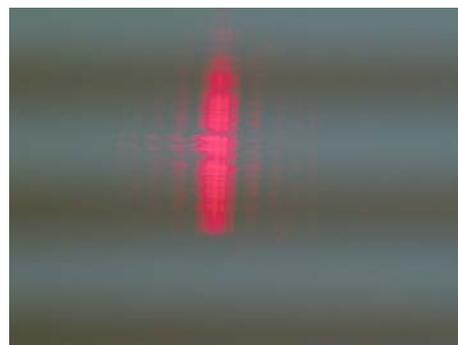


图 30: 二 7 单缝 成像

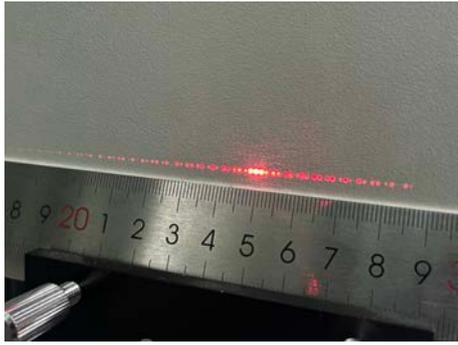


图 31: 二 8 双缝 频谱

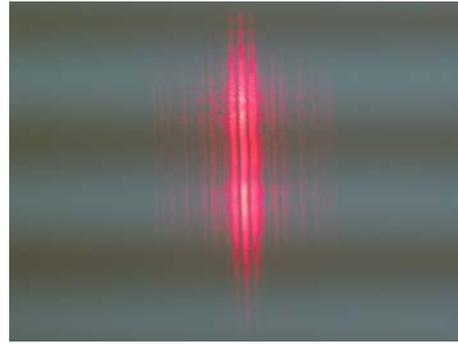


图 32: 二 8 双缝 成像

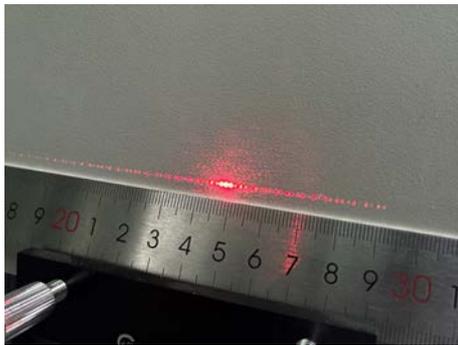


图 33: 三 1 三缝 频谱

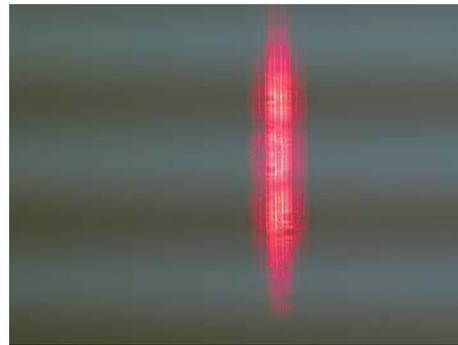


图 34: 三 1 三缝 成像

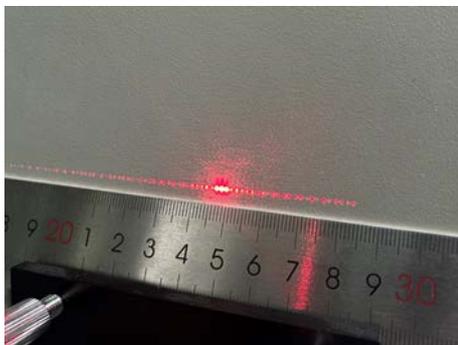


图 35: 三 2 四缝 频谱

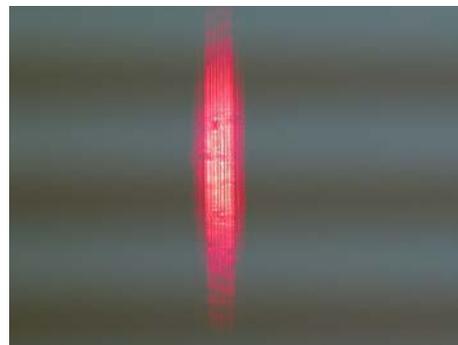


图 36: 三 2 四缝 成像



图 37: 三 3 五缝 频谱

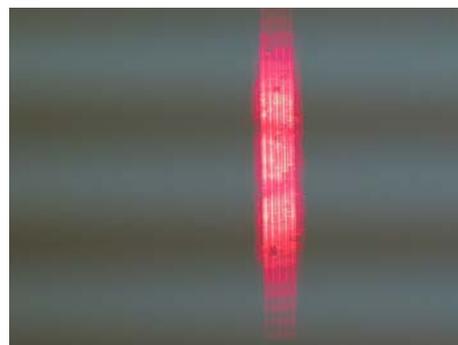


图 38: 三 3 五缝 成像

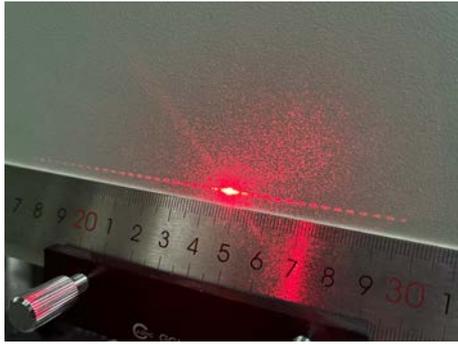


图 39: 三 4 单丝 频谱

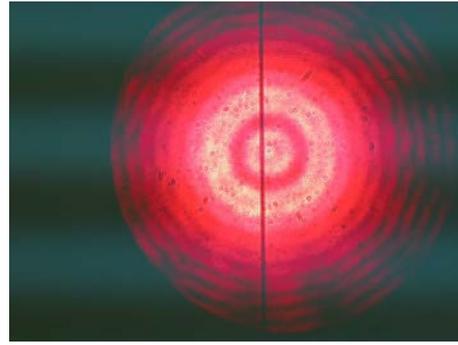


图 40: 三 4 单丝 成像

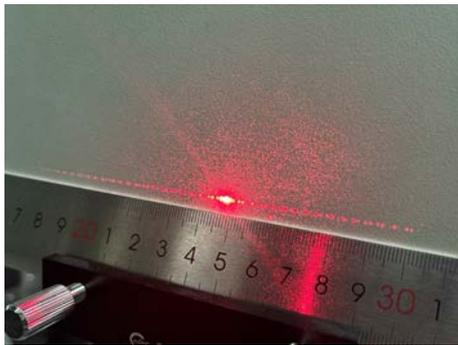


图 41: 三 5 双丝 频谱

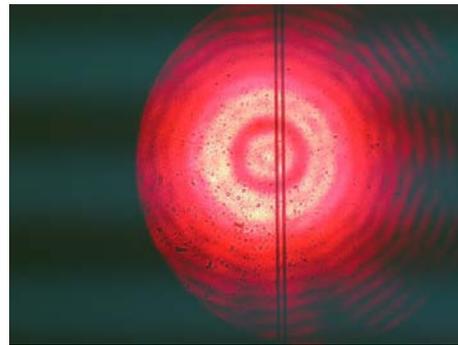


图 42: 三 5 双丝 成像



图 43: 三 6 三丝 频谱

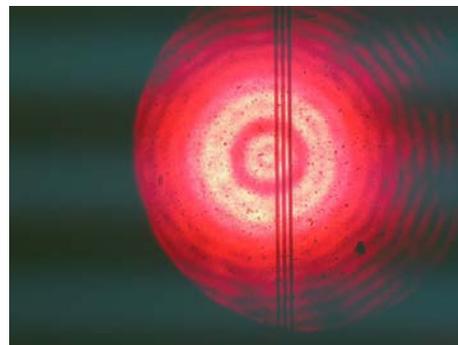


图 44: 三 6 三丝 成像



图 45: 三 7 四丝 频谱

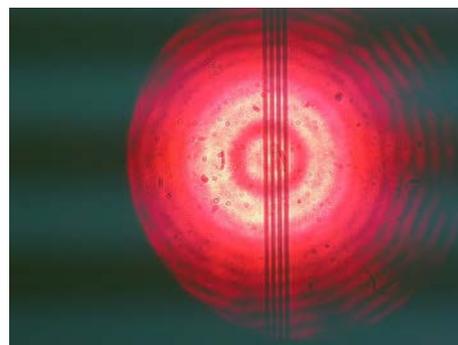


图 46: 三 7 四丝 成像



图 47: 三 8 五丝 频谱

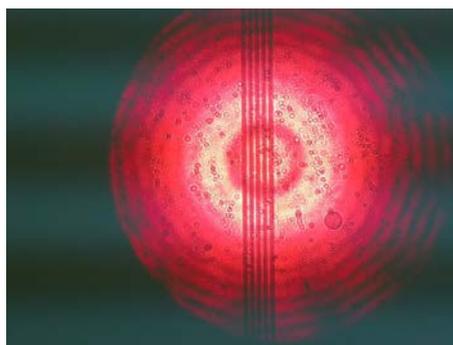


图 48: 三 8 五丝 成像

1.2 一维光栅

1.2.1 频谱和成像图

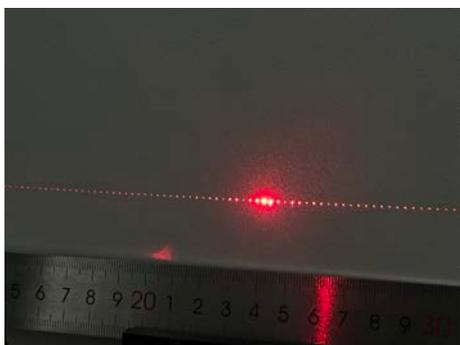


图 49: 一维光栅 频谱



图 50: 一维光栅 成像

用平行光入射一维光栅，经过凸透镜后在后焦面上用光屏承接，得到图 49。利用图 49 进行测量，测量得到频谱的 ± 25 级光斑之间的距离为 $50\Delta x = 12.08\text{cm}$ ，所以根据 $\Delta x = \frac{f}{d}\lambda$ 得到光栅常数 $\frac{1}{d}$ 为

$$\frac{1}{d} = \frac{\Delta x}{f\lambda} = 15.27\text{mm}^{-1}$$

即这个光栅约为 15.27 线 /mm。

1.2.2 滤波图



图 51: 一维光栅只过零级



图 52: 一维光栅 0, 1 级

在频谱面上放置光阑进行空间滤波，得到的四种结果如图所示。

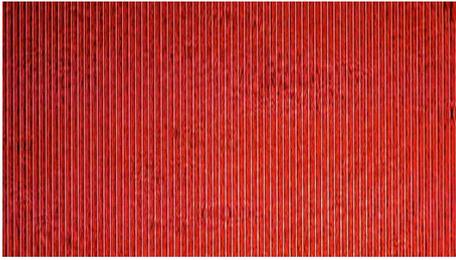


图 53: 一维光栅滤掉 0 级

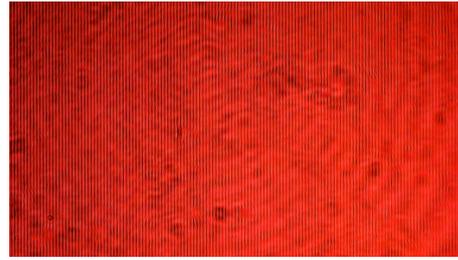


图 54: 一维光栅滤掉 1 级

图 51 显示了滤波时只让 0 级通过的情形，可以看到得到的像均匀发亮，只保留了直流信息，失去了交流信息。

图 52 显示了滤波时保留 0 级和 ± 1 级的像，图像与光栅的像类似，但是由于丢失了高频信息，所以亮暗的分界变得模糊。

图 53 显示了滤波时滤掉 0 级而让其他所有频率的光通过的像，可以看到空间频率和原像保持一致，但发生了衬比度反转。这是因为复振幅扣除了直流成分后，原来的亮处和暗处的复振幅大小可能会发生反转（具体发生与否由光栅狭缝宽度 a 和光栅常数 d 的比值决定），导致衬比度发生反转。

图 54 显示了滤波时仅滤掉 ± 1 级而让其他频率通过的像，可以看到空间频率变成了原像的 2 倍，这是由于原来的复振幅扣除 ± 1 级的振幅后，使得原来的暗处也出现亮纹，使得空间频率翻倍。

1.3 二维光栅

1.3.1 频谱和成像图

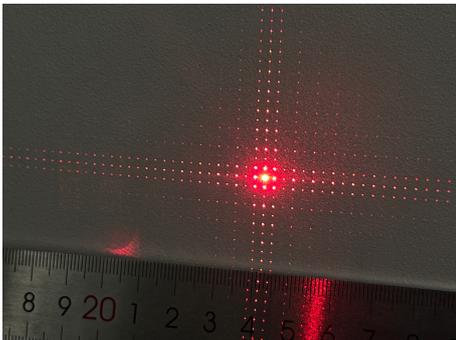


图 55: 二维光栅 频谱

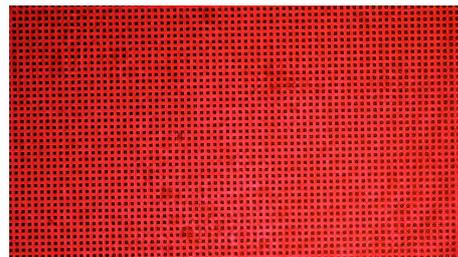


图 56: 二维光栅 成像

1.3.2 滤波图

对二维光栅的频谱进行空间滤波，得到的四种结果如图所示。

图 57 对应只让 0 级通过，失去了所有频率信息，画面一片均匀。

图 58 对应使用水平狭缝滤波，保留了 x 方向的频率信息，所以得到了竖直条纹。

图 59 是用竖直狭缝滤波，得到了水平条纹。

图 60 是使用倾斜狭缝滤波，得到了倾斜的条纹。



图 57: 二维光栅小孔滤波 (只过 0 级)

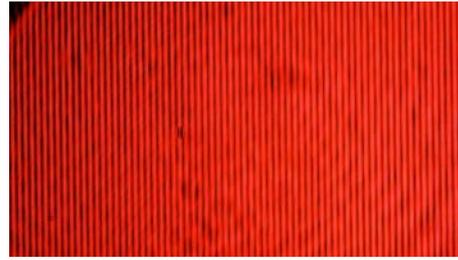


图 58: 二维光栅水平狭缝



图 59: 二维光栅竖直狭缝



图 60: 二维光栅倾斜狭缝

1.4 光字叠加二维光栅

1.4.1 频谱和成像图

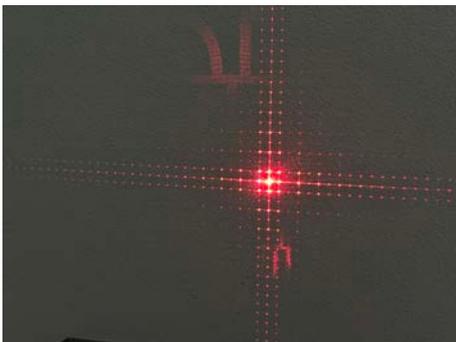


图 61: 光字 频谱

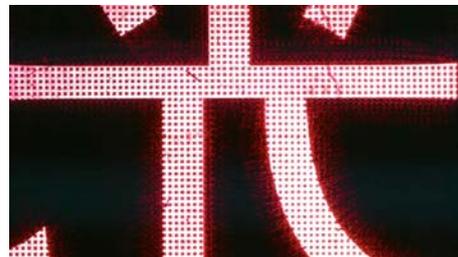


图 62: 光字 成像

光字和二维光栅叠加的频谱如图 61 所示, 由于光字空间频率较低, 所以在频谱图上集中在原点附近, 很难观察到, 频谱图整体类似二维光栅的频谱图。

1.4.2 滤波图

对光字滤波得到的四种结果如图所示。

图 63 是用直径 1mm 的小孔滤波, 过滤掉了高频成分, 保留了低频成分。所以在画面中可以看到光字, 而看不到光栅, 同时, 由于高频成分的缺失, 光字的边缘变得模糊。

图 64 是用 0.3mm 的小孔滤波, 由于孔径过小, 连光字的频谱都只保留了很小的一部分, 导致图像失去了原本的形状。

图 65 和图 66 分别是使 (1, 0) 级和 (1, 1) 级衍射斑通过光阑, 由于只有一种频率成分透过了光阑, 所以最后的像的亮度基本上是均匀的, 没有出现条纹, 并且图形保留了原有的形状。

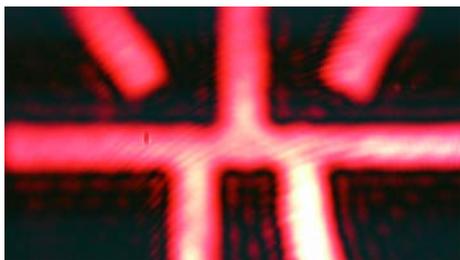


图 63: 光字 1mm 小孔滤波



图 64: 光字 0.3mm 小孔滤波



图 65: 光字 (1,0) 级衍射斑



图 66: 光字 (1,1) 级衍射斑

1.5 十字孔

1.5.1 频谱和成像图

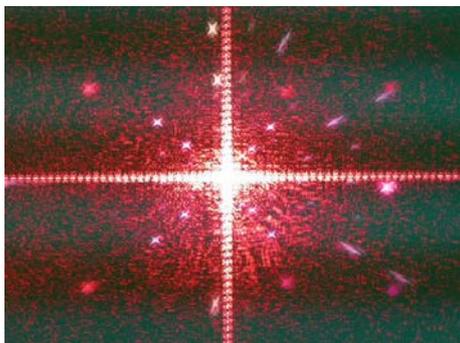


图 67: 十字 频谱



图 68: 十字 成像

1.5.2 滤波图

使用圆屏光阑过滤掉频谱的中心部分之后，得到的图像如图 69 所示。可以看到，原本图像的亮处变暗了，而边缘处则较亮。这是因为边缘处发生了光强的突变，叠加了很多高频成分。而原本大片发亮的区域由于空间频率较低，被光阑过滤掉了。

1.6 两个二维光栅叠加

1.6.1 实际拍摄

两个光栅的空间频率分别为 20 线/mm 和 200 线/mm，将它们叠加之后的频谱如图 70 所示，可以看到，在频谱图上间距较宽的点对应的是 20 线/mm 的光栅的空间频率，而在

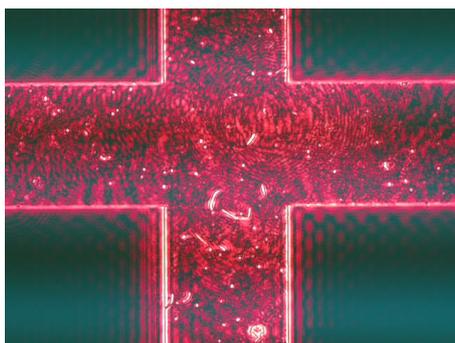


图 69: 十字圆屏滤波



图 70: 平行



图 71: 旋转 20 线/mm 的光栅

每一个这样的点周围都分布着一些间距较小的点，使得其局部图像类似于 20 线/mm 的光栅的频谱。而在旋转 20 线/mm 的光栅时，这些间距较小的点也会随之旋转。

这种现象产生的原因是傅里叶变换中的卷积定理，原函数的卷积对应像函数的卷积。产生的结果就像是将 20 线/mm 的光栅的频谱在 200 线/mm 的光栅的每一点附近展开一样。

1.6.2 数值模拟

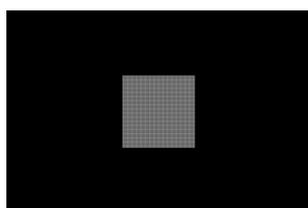


图 72: 光栅 1

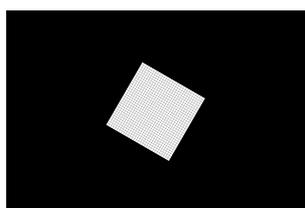
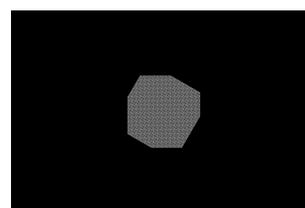
图 73: 光栅 2(空间频率 $f_2 = \frac{1}{10}f_1$)

图 74: 叠加

使用 Matlab 对两个二维光栅的图像及其叠加后的图像进行傅里叶变换，得到了图 75,76,77 的结果，可以看到，这与上面实验和分析的结果是一致的。叠加后的图像的频谱是原先的两个图像的频谱的卷积。

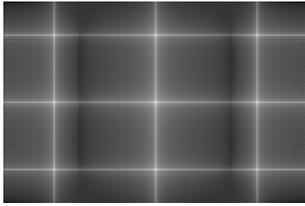


图 75: 光栅 1 频谱

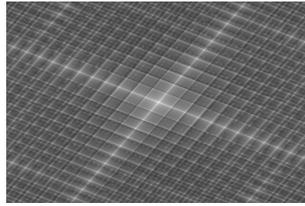


图 76: 光栅 2 频谱

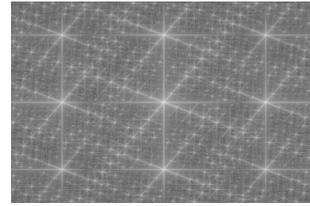


图 77: 叠加后频谱

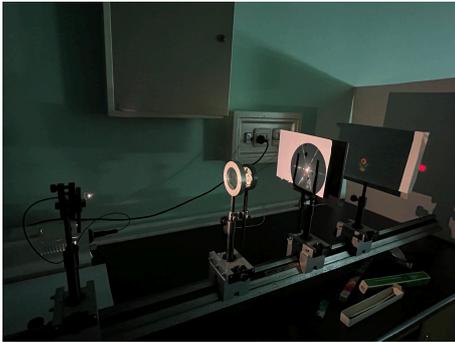


图 78: 光路图



图 79: 效果图

1.7 θ 调制

1.7.1 光路图

θ 调制实验使用白光球面波照明，经过透镜后打在物屏上，物是由不同取向的光栅拼接而成的，所以一种取向的光栅就会在频谱面上展开一个方向的彩色谱斑，我们将不同方向上的频谱选择特定的颜色透过（通过在纸上开孔实现），就可以在最后的像屏上得到彩色的图像。

1.7.2 原理

由于不同颜色的光的频率不同，所以对应的空间频率也不同，所以经过傅里叶变换之后在频谱面上各种颜色会发生分离，形成彩色的谱斑。我们利用不同取向的光栅将物体不同位置的空间频率进行分离，再利用波长不同使得各种颜色相互分离，最后我们可以在频谱面上选择相应空间位置对应的谱斑，使得特定的颜色透过，这样就可以得到彩色的图像了。

2 收获与感想

本次实验带给我的收获还是很多的。首先就是对于光学仪器的调节，第一次课花了半个多小时才调好的光路，第二次课只花了不到 15 分钟就调节好了，而且成像质量也比第一次更好。其次就是了解了光学傅里叶变换的相关概念，也对光信息处理的原理和操作有了更深入的认识。另外，我在这次的实验中直观地观察到了卷积的作用，对这个以前只在书本看过的抽象的概念建立起了直观的认识，更加深刻地理解了其“平移-伸缩-叠加”的性质。