

基础物理实验报告

光信息处理

姓 名：仇 是

学 号：2200011630

指导教师姓名：

序 号：6 组 5 号

二〇二四年 3 月

1 实验现象记录与数据处理

1.1 不同结构的空间频谱与像的分布

小孔阵列的频谱分布特征：阵列整体频谱的特征和单个小孔的衍射分布类似，而单体细节处与二维光栅铺的衍射分布类似，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排布。

现象解释：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。

图案样例（十张图，对应五种衍射结构）

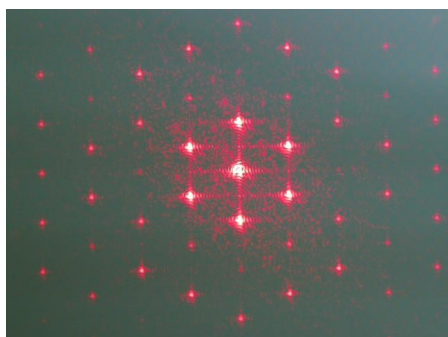


图 1: 圆孔密排 频谱

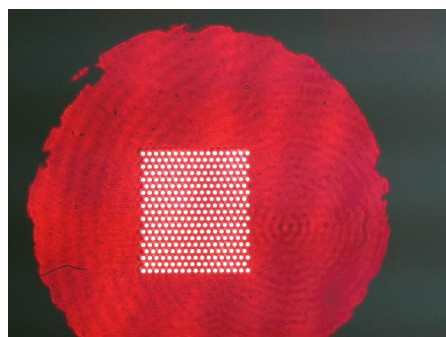


图 2: 圆孔密排 成像

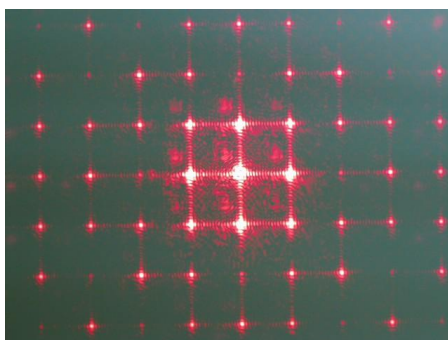


图 3: 方孔方阵 频谱

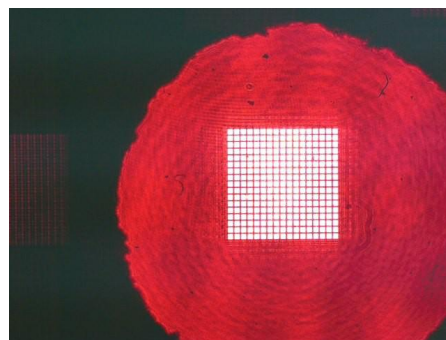


图 4: 方孔方阵 成像

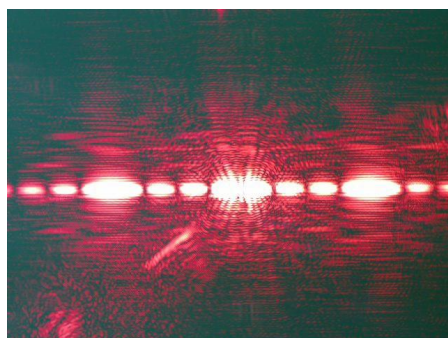


图 5: 双缝 频谱



图 6: 双缝 成像

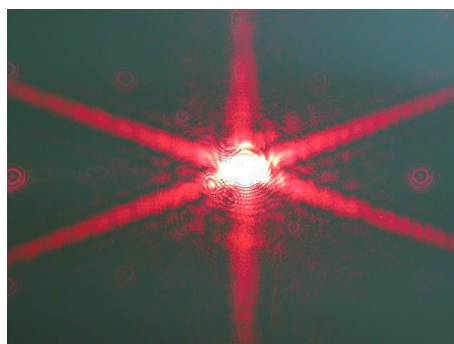


图 7: 等腰三角形 频谱

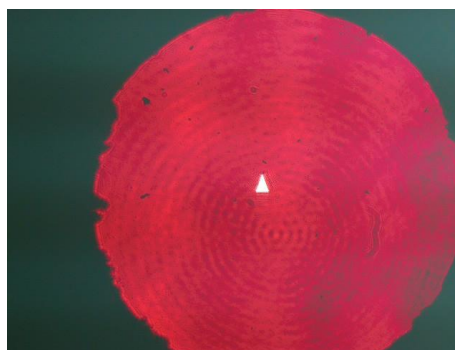


图 8: 等腰三角形 成像

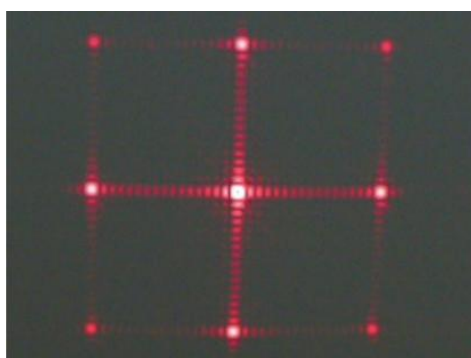


图 9: 单矩形孔 频谱

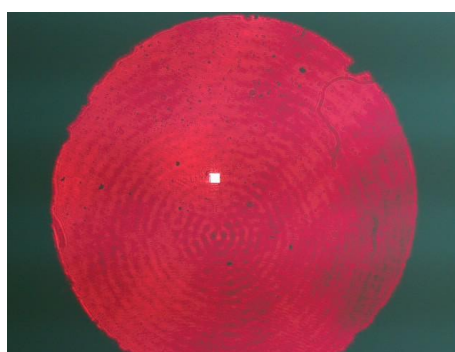


图 10: 单矩形孔 成像

1.2 一维光栅

1.2.1 频谱分析和成像图

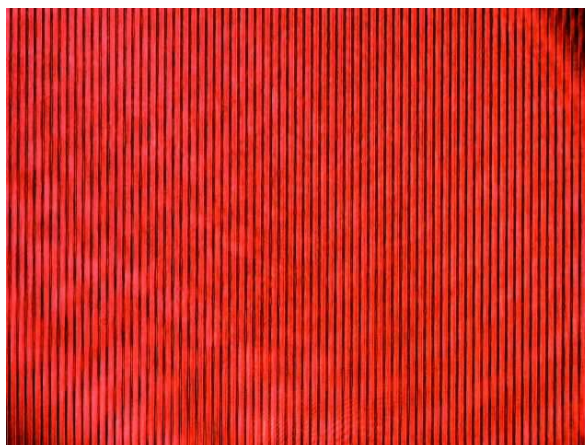


图 11: 一维光栅 成像

用平行光入射一维光栅，经过凸透镜后在像面上用光屏承接，利用钢尺进行测量，测量得到对应像的光斑直径为 4.8mm，对应屏幕上软件显示 414.48px；

经过凸透镜后在后焦面上用光屏承接，利用软件上的屏幕像素距离进行等比测量，测量得到±一级光强极值点之间的像素距离为 $2d = 268.26\text{px}$ ，所以根据等比公式，距离

为 $d = 1.5534\text{mm}$;

将平行光直接经过凸透镜后在后焦面上用光屏承接，调整距离直至平行光汇聚为闪亮点状光斑，测量透镜焦距，得到结果 $f = 29.1\text{cm}$

带入以上数据得到 $\nu = \frac{d}{\lambda} = 8433$ (线/m)

即一维光栅约为 8.433 线/mm

1.2.2 滤波图

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 12 一维光栅只过零级

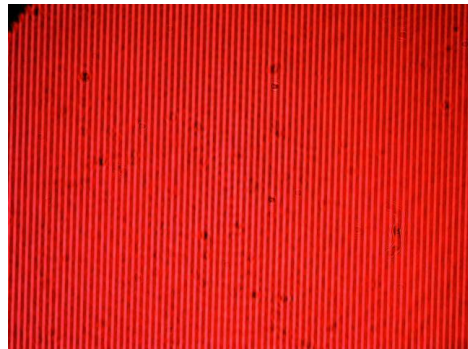


图 13 一维光栅 0, 1 级

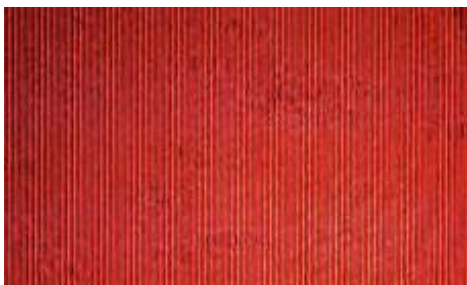


图 14 一维光栅滤掉 0 级



图 15 一维光栅滤掉 1 级

图 12 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, 解释为滤波过程只保留了直流信息，而失去了交流信息。

图 13 显示了滤波时保留 0 级和 ± 1 级的像，图像与光栅本身的像类似，但是由于缺失了高频信息，所以亮暗的分界较为模糊。

图 14 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，而衬比度反转。这或许是因为复振幅除去直流成分后，原来的亮处和暗处的复振幅大小反转，导致衬比度发生反转。

图 15 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除去 ± 1 级的振幅后，暗处也出现条纹，空间频率翻倍。

1.3 二维光栅

1.3.1 频谱和成像图

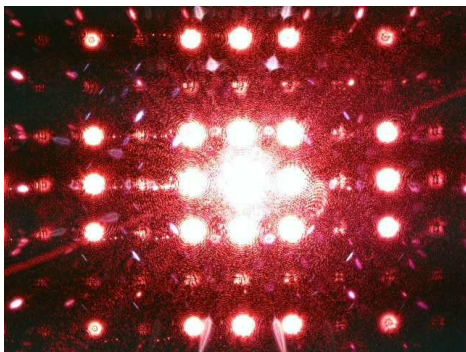


图 16 二维光栅 频谱

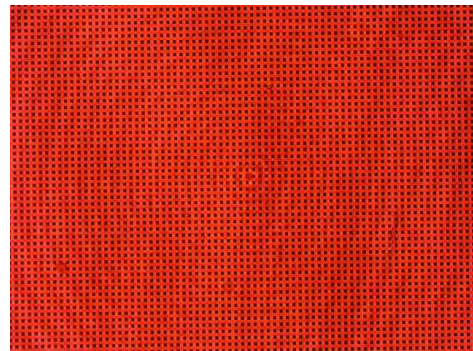


图 17 二维光栅 成像

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 18 对应只让 0 级通过，失去了所有频率信息，画面一片均匀。

图 19 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 20 使用竖直狭缝滤波，保留了 y 方向的频率信息，因此得到了水平条纹。

图 21 使用倾斜狭缝滤波，得到了倾斜的条纹，条纹倾角与狭缝倾角一致。



图 18 二维光栅 滤波通过 0 级



图 19 二维光栅 水平狭缝

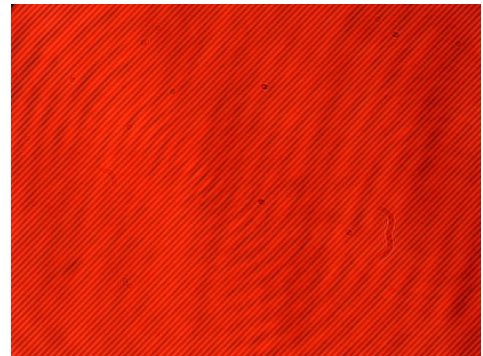


图 20 二维光栅 竖直狭缝

图 21 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

光字和二维光栅叠加的频谱如图 22 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。

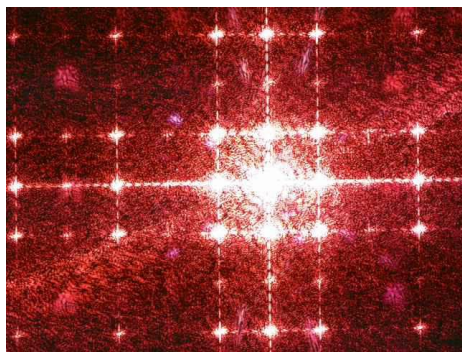


图 22 光字 频谱面

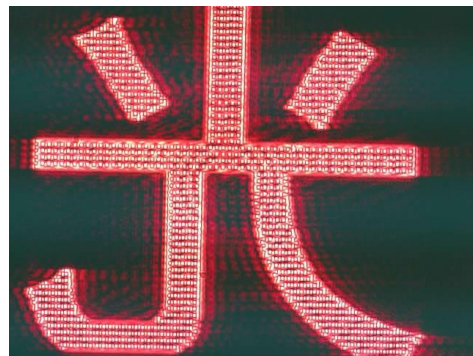


图 23 光字 成像

1.4.2 滤波图

对光字滤波得到的四种结果如图所示。

图 24 是用直径 1mm 的小孔滤波,过滤了高频成分,保留了低频成分。画面中可以看到光字,而看不到光栅细节成分,光字的边缘变得模糊。

图 25 是用 0.3mm 的小孔滤波,小孔直径过小,导致光字频谱本身信息大量流失,图像失去了原本的形状。

图 26 和图 27 分别是使 0 级和 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。

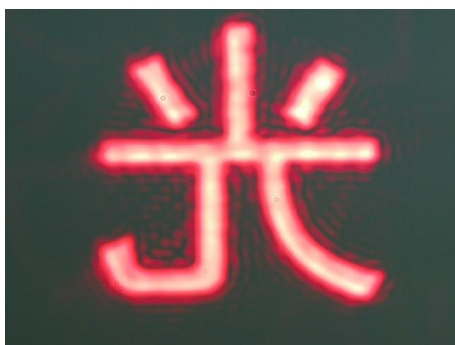


图 24 1mm 滤波

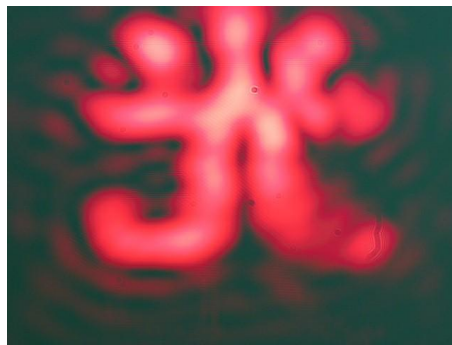


图 25 0.3mm 滤波

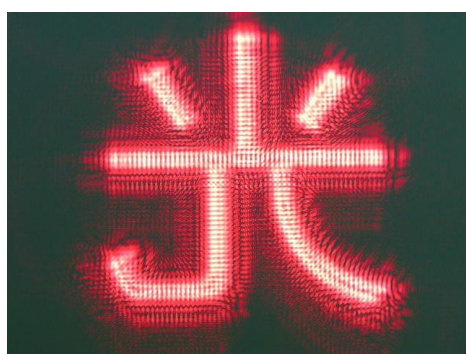


图 26 0 级亮斑



图 27 1 级亮斑

1.5 十字孔

1.5.1 频谱和成像图

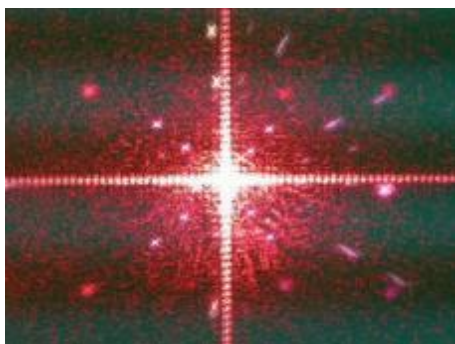


图 28 十字 频谱



图 29 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 30 所示。图像边缘处较亮，中心部分较暗。

解释：边缘处发生了光强的突变，原本亮的区域由于空间频率较低，被光阑过滤。

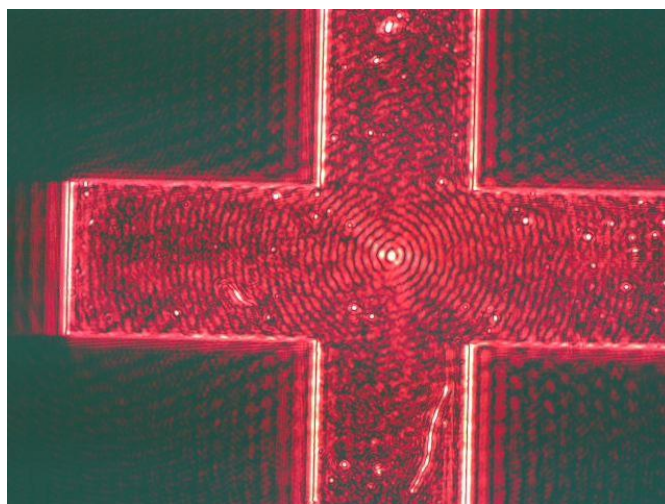


图 30 十字 滤波

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，分别图像如图 31，32 所示。

将它们叠加之后的频谱如图 33 所示。

在频谱图上间距较宽的点对应的是 200 线/mm 的光栅的空间频率，每一个点周围都分布着一些间距较小的点，局部图像类似于前者光栅的频谱。而在旋转 20 线/mm 的光栅时，这些周围排布的点也会随之旋转。

现象解释：是由里叶变换中的卷积定理，原函数的乘积与像函数的卷积一一对应。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。



图 31 20 线/mm 光栅 成像

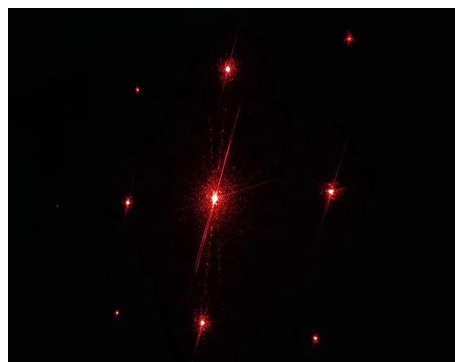


图 32 200 线/mm 光栅 成像

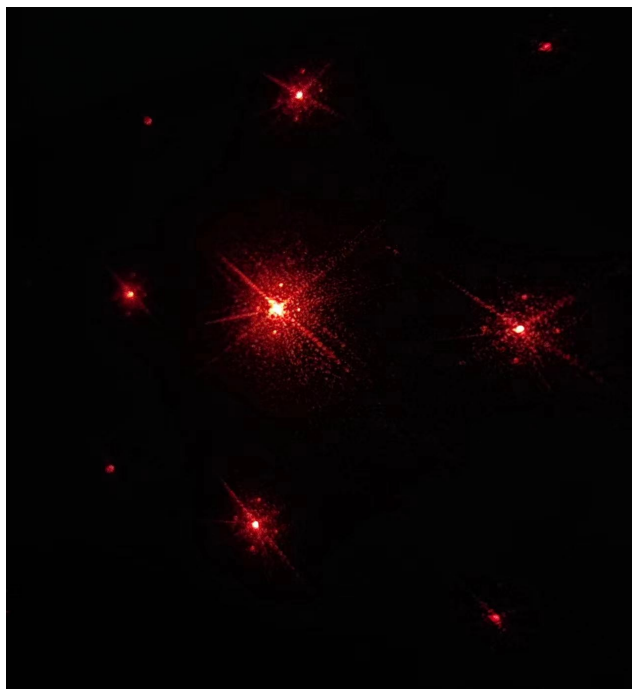


图 33 光栅叠加 成像

1.7 θ 调制

1.7.1 现象记录

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。

具体现象如图 34 所示，通过不同波段的光形成了三色小花。

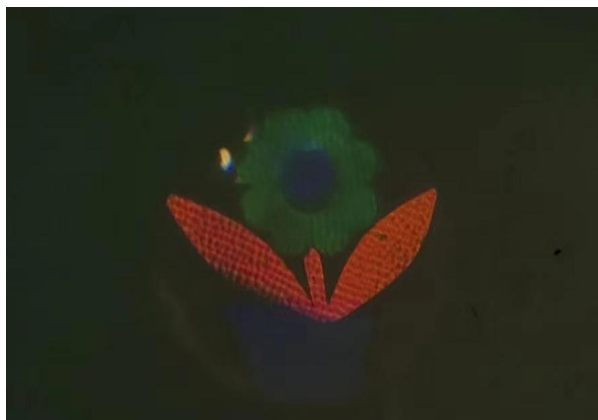


图 34 θ 调制形成的彩色小花

1.7.2 原理

不同颜色的光对应的空间频率也不同，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。

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，利用波长不同使得各种颜色相互分离，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，得到彩色的图像。

2 分析与讨论

2.1 光路准直的相关讨论

调光路时，尤其应当注意调整入射角度：调整激光器的位置和角度，使其发出的光线正好垂直于凸透镜的中心。这样可以最大程度地减少透镜的畸变，并使准直后的光束尽可能接近理想的平行光。

此外，可以借助衍射光栅进行光路准直。将衍射光栅放置在光路中，观察通过衍射光栅后的光斑。通过微调凸透镜的位置和角度，使衍射光斑尽可能接近理想的单一亮点，即表明光束已经准直。

2.2 测距精确度的相关方案

实验室所提供的直尺测距精确度不足，其分度仅为 0.1mm ，而且在测量光斑直径时，由于周围环境较暗而且光斑容易变形，导致测得数据准确度不足。

经软件分析，可以由 S-EYE 软件上的屏幕测距方式，先通过测量定长的实物（非光斑）以及其在屏幕上的像素距离（px 单位）确定等比关系，再通过带观测光学结构的频谱/成像特性的屏幕距离，定出其实际距离，这样的准确度会更高。

3 收获与感想

这两周最大的收获便是调光路的相关技巧。从第一节课一个半小时调好光路到第二节课轻车熟路 20 分钟完成光路调制，我的光路调节技术有了明显提升。这对后续的相关实验以及科研都会有可观的帮助。

其次便是光信息处理实验让我再次深刻认识了傅里叶卷积定理。卷积定理是信号处理和图像处理中的一个基本定理，它描述了两个信号（或函数）的卷积在频域中等于这两个信号的傅里叶变换的乘积。在光学领域，这个定理可以用来解释叠加在光栅上的照片的光学傅里叶变换的频谱特征。实验观测上，两个光栅图案的叠加很是令人惊讶，也让我收获颇丰。