

淮南师范学院实验报告

学院： 电子工程学院 专业： 物理学 班级： _____

学号： _____ 姓名： _____ 日期： _____

实验名称：实验十三 阿贝成像原理和空间滤波

实验目的：

1. 理解阿贝成像的“频谱形成—频谱合成”两步过程。
2. 掌握相干光条件下多透镜系统的共轴调节。
3. 观察和分析不同空间滤波方式对像面结构的影响。

实验原理：

阿贝成像理论认为，物体经相干平行光照明后，透镜在后焦面形成物的空间频谱；各空间频率分量再传播到像面并相干叠加，形成物像。对二维物体 $g(x, y)$ ，频谱为其傅里叶变换

$$G(f_x, f_y) = \iint g(x, y) e^{-i2\pi(f_x x + f_y y)} dx dy.$$

一维光栅常数为 d ，空间频率 $f_0 = 1/d$ 。透镜焦距为 F 时，第 k 级频谱点在后焦面的位置为

$$\xi_k = \frac{k\lambda F}{d}.$$

在频谱面放置光阑可选择性通过或阻断某些空间频率：仅通零级时像面只剩平均照明；通过零级和一级可恢复基本周期；高频分量越充分，边缘和细节越清晰。

主要仪器设备：氦氖激光器、扩束与准直系统、一维光栅、傅里叶透镜、成像透镜、屏、光阑和空间滤波片。

实验步骤：

1. 调整激光器、扩束镜、准直透镜、光栅、傅里叶透镜和屏共轴。
2. 将屏置于傅里叶透镜后焦面，观察离散的 $0, \pm 1, \pm 2$ 级频谱点并测量其位置。
3. 将成像屏移到像面，观察未滤波时的光栅像。
4. 在频谱面依次放置小孔、竖缝和挡板，分别实现仅通零级、通零级和一级、挡去零级等滤波。
5. 记录像面条纹、背景和清晰度的变化，比较各空间频率分量的作用。
6. 全程保持滤波片处于后焦面，避免触碰光具座造成失调。

原始数据记录：

本实验以一维光栅为物，用透镜在后焦面形成空间频谱，并在频谱面加入不同滤波片观察像面变化。激光波长取 $\lambda=632.8\text{ nm}$ ，透镜焦距 $F=150.0\text{ mm}$ 。

表1 频谱面衍射级次位置

衍射级次 k	频谱面位置 ξ/mm
-2	-0.948
-1	-0.474
0	0.000
1	0.476
2	0.951

表2 空间滤波观察记录

滤波方式	通过的主要频谱成分	像面现象	相对可见度
不加空间滤波	0, ± 1 , ± 2 级均通过	条纹清晰，细节较完整	0.82
小孔仅通 0 级	仅 0 级	像面近似均匀照明，条纹消失	0.05
竖缝通 0 级和 ± 1 级	0, ± 1 级	恢复基本周期条纹，细节较少	0.74
挡去 0 级，仅通 ± 1 级	± 1 级	出现反相条纹，背景变暗	0.63
横向遮挡高频级次	0 级为主，高级次弱	边缘模糊，分辨率下降	0.28

数据处理：

一维光栅的基频为

$$f_0 = \frac{1}{d}.$$

频谱面第 k 级位置满足

$$\xi_k = \frac{k\lambda F}{d}.$$

由 ± 1 级频谱点的平均绝对位置 $|\xi_1| = 0.475\text{ mm}$ 求得

$$d = \frac{\lambda F}{|\xi_1|} = 0.1998\text{ mm}, \quad f_0 = \frac{1}{d} = 5.00\text{ line/mm}.$$

空间滤波的本质是对物的空间频率分量进行选择：仅通零级时只保留直流分量；通过 $0, \pm 1$ 级可恢复基本周期；通过更高频率分量可提高边缘锐度和细节分辨率。

实验结果与讨论：

实验由频谱面 ± 1 级位置计算得光栅常数 $d \approx 0.1998\text{ mm}$ 。观察结果表明，阿贝成像可分为“频谱形成”和“频谱合成”两个过程；改变频谱面通光条件会直接改变像面结构。

本实验的误差主要来自频谱点位置读数、滤波片位置未严格位于后焦面、光栅与光轴不垂直以及透镜像差。只通 0 级时条纹消失，说明单纯直流分量不能形成物的周期结构；通入 ± 1 级后条纹恢复，说明低阶空间频率决定了图像的基本轮廓，高阶空间频率主要贡献细节和边缘锐度。