

阿贝成像原理和空间滤波

阿贝所提出的显微镜成像的原理以及随后的阿—波特实验在傅里叶光学早期发展历史上具有重要的地位。这些实验简单而且漂亮，对相干光成像的机理、对频谱的分析和综合的原理做出了深刻的解释。同时，这种用简单模板做滤波的方法，直到今天，在图像处理中仍然有广泛的应用价值。

一. 实验目的

1. 通过实验，加强对傅里叶光学中有关空间频率、空间频谱和空间滤波等概念的理解。
2. 熟悉空间滤波的光路及进行高通、低通和方向滤波的方法。

二. 实验原理

阿贝认为在相干平行光照射下，显微镜的成像可分为两个步骤。第一个步骤是通过物的衍射在物镜后焦面上形成一个初级干涉图；第二个步骤则为物镜后焦面上的初级干涉图复合为像。这就是通常所说的阿贝成像原理。

成像的这两个步骤本质上就是两次傅里叶变换。如果物的复振幅分布是 $g(x_0, y_0)$ ，可以证明在物镜的后焦面 (x_f, y_f) 上的复振幅分布是 $g(x_0, y_0)$ 的傅里叶变换 $G(x_f, y_f)$ （只要令 $f_x = x_f / \lambda f$ ， $f_y = y_f / \lambda f$ ； λ 为光的波长， f 为物镜焦距）。所以第一个步骤起的作用就是把光场分布变为空间频率分布。而第二个步骤则是又一次傅里叶变换将 $G(x_f, y_f)$ 又还原到空间分布。

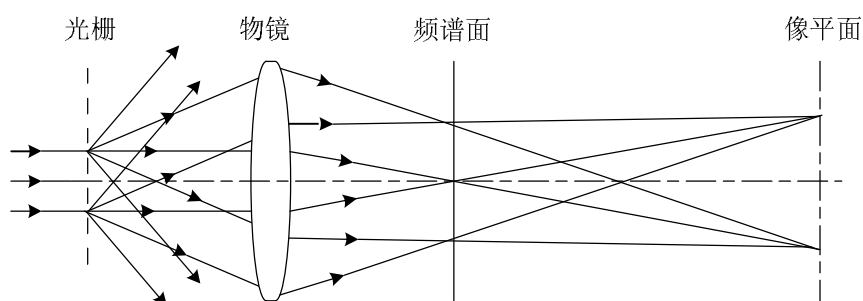


图 1

图 1 显示了成像的这两个步骤。如果以一个光栅作为物。平行光照在光栅上，经衍射分解成为不同方向传播的多束平行光（每一束平行光相应于一定的空间频率）。经过物镜分别聚焦在后焦面上形成点阵。然后，代表不同空间频率的光束又重新在像平面上复合而成像。

如果这两次傅氏变换完全是理想的，信息在变换过程中没有损失，则像和物完全相似。但由于透镜的孔径是有限的，总有一部分衍射角度较大的高次成分（高频信息）不能进入物镜而被丢弃了。所以物所包含的超过一定空间频率的成分就不能包含在像上。高频信息主要反映物的细节。如果高频信息没有到达像平面，则无论显微镜有多大的放大倍数，也不能在像平面上分辨这些细节。这是显微镜分辨率受到限制的根本原因。特别当场的结构非常精细（例如很密的光栅），或物镜的孔径非常小时，有可能只有 0 级衍射（直流成分）能通过，则在像平面上只有光斑而完全不能形成图像。

根据上面讨论，我们可以看到显微镜中的物镜的孔径实际上起了高频滤波（即低通滤波）的作用。这就启示我们，如果在焦平面上人为地插上一些滤波器（吸收板或移像板）以改变焦平面上的光振幅和位相。就可以根据需要改变像平面上的频谱。这就是空间滤波。最简单

的滤波器就是一些特殊形状的光阑。将这种光阑放在频谱面上，使一部分频率分量能通过，而挡住其它的频率分量，从而使像平面上的图像中的一部分频率分量得到相对加强。下面介绍几种常用的滤波方法：

1. 低通滤波

滤去高频成分，保留低频成分。由于低频成分集中在频谱面的光轴附近，高频成分则落在远离光轴的地方。故低通滤波器就是一个圆形光孔，图像的精细结构及突变部分主要由高频成分起作用，故经低通滤波后图像的精细结构消失，黑白突变处变模糊。

2. 高通滤波

滤去低频成分，保留高频成分。而让高频部分通过。高频信息反映了图像的突变部分。如果所处理的图像由透明和不透明部分组成，则经过高通滤波的处理，图像的轮廓（及相应于物的透光和不透光的交界处）应显得特别明显。

3. 方向滤波

滤波器可以是一个狭缝，如果将狭缝放在沿水平方向，则只有水平方向的衍射的物面信息能通过。在像平面上就突出了垂直方向的线条。方向滤波器有时也可制成扇形。

三. 实验仪器

光学平台、激光器、显微物镜 L_1 、准直透镜 L_2 、成像透镜 L 、光栅（一维、正交等）可调单缝等。

四. 实验内容

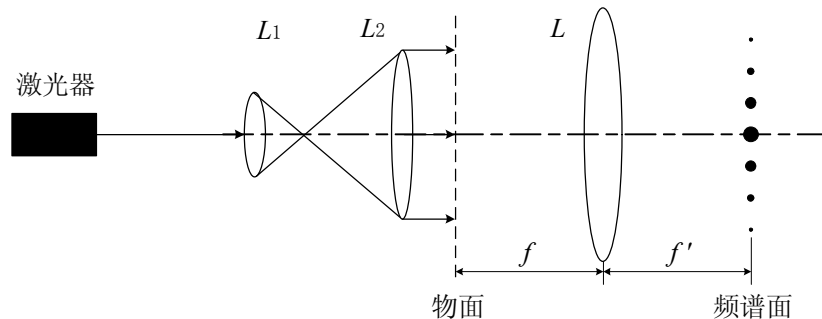


图 2

1. 实验光路如图 2 所示。 L_1 和 L_2 组成倒装望远镜系统，将激光扩展成有较大截面积的平行光。仔细调节该系统，使只能产生平行光。
2. 再物面上放置一一维光栅，光栅条纹沿垂直方向。在频谱面上将会看到水平方向排列的等间距衍射光点。中间最亮得为 0 级衍射，两侧依次为 ± 1 ， ± 2 ， \dots 级衍射点。
3. 在频谱面上放置一可调狭缝，利用遮光小板，使只有 0 级和 ± 1 级衍射通过，观察并记录像面图像变化。
4. 利用遮光小板，使只有 0 级衍射通过，观察并记录像面图像变化。
5. 利用遮光小板，挡去 0 级衍射而使其它衍射光通过，观察并记录像面图像变化。
6. 将光栅改为正交光栅，其它条件不变，利用可调狭缝观察并记录水平方向衍射通过、垂直方向衍射通过和 45 度衍射通过时，像面上图像的变化。
7. 高频滤波
使用将带图像的一维光栅作为物，利用遮光小板挡去高级衍射，观察并记录像面上图像的变化。