

全息光栅的制作

全息光学元件（HOE）是指采用全息方法（包括计算全息方法）制作的，可以完成准直、聚焦、分束、成像、光束偏转光束扫描等功能的元件。在完成上述功能时，它不是基于光的反射和规律折射，而是基于光的衍射和干涉原理。所以全息光学元件又称为衍射元件。常用的全息光学元件包括全息透镜、全息光栅和全息空间滤波器等。

全息光栅是一种重要的分光元件。作为光谱分光元件，与传统的刻划光栅相比，具有以下优点：光谱中无鬼线、杂散光少、分辨率高、有效孔径大、生产效率高、价格便宜等，已广泛应用于各种光栅光谱仪中，供科研、教学、产品开发之用。作为光束分束器件，在集成光学和光通信中用作光束分束器、光互连器、耦合器和偏转器等。在光信息处理中，可作为滤波器用于图像相减、边沿增强等。本实验主要进行平面全息光栅的设计和制作实验。

【实验目的与要求】

- 1、学习掌握制作全息光栅的原理和方法。
- 2、设计制作全息光栅的完整步骤（包括拍摄和冲洗中的参数及注意事项），拍摄出全息光栅。
- 3、用适当方法测出所制作的全息光栅的光栅常数值并做实验小结。

【实验原理】

光栅也称衍射光栅，是利用多缝衍射原理使光发生色散（分解为光谱）的光学元件。它是一块刻有大量平行等宽、等距狭缝（刻线）的平面玻璃或金属片。光栅的狭缝数量很大，一般每毫米几十至几千条。单色平行光通过光栅每个缝的衍射和各缝间的干涉，形成暗条纹很宽、明条纹很细的图样，这些锐细而明亮的条纹称作谱线。谱线的位置随波长而异，当复色光通过光栅后，不同波长的谱线在不同的位置出现而形成光谱。光通过光栅形成光谱是单缝衍射和多缝干涉的共同结果。

全息光栅的制作原理是：两束具有特定波面形状的光束干涉，在记录平面上形成亮暗相间的干涉条纹，用全息记录介质记录干涉条纹，经处理得到全息光栅。采用不同的波面形状可得到不同用途的全息光栅，采用不同的全息记录介质和处理过程可得到不同类型或不同用途的全息光栅（如正余弦光栅、矩形光栅、平面光栅和体光栅）。下面介绍制作平面全息光栅的光路布置、设计制作原理。

1、全息光栅的记录光路

记录全息光栅的光路有多种，图1和图2是其中常见的两种光路。在图1所示光路中，由激光器发出的激光经分束镜BS 后被分为两束，一束经反射镜M1反射、透镜L1 和L2 扩束准直后，直接射向全息干板H；另一束经反射镜M2 反射、

透镜L3和L4扩束准直后，也射向全息干板H。图中，S和A分别为电子快门和光强衰减器，电子快门与曝光定时器相连，用于控制曝光时间。两平行光束在全息干板上交叠干涉，形成平行等距直线干涉条纹。全息干板经曝光、显影、定影、烘干等处理后，就得到一个全息光栅。

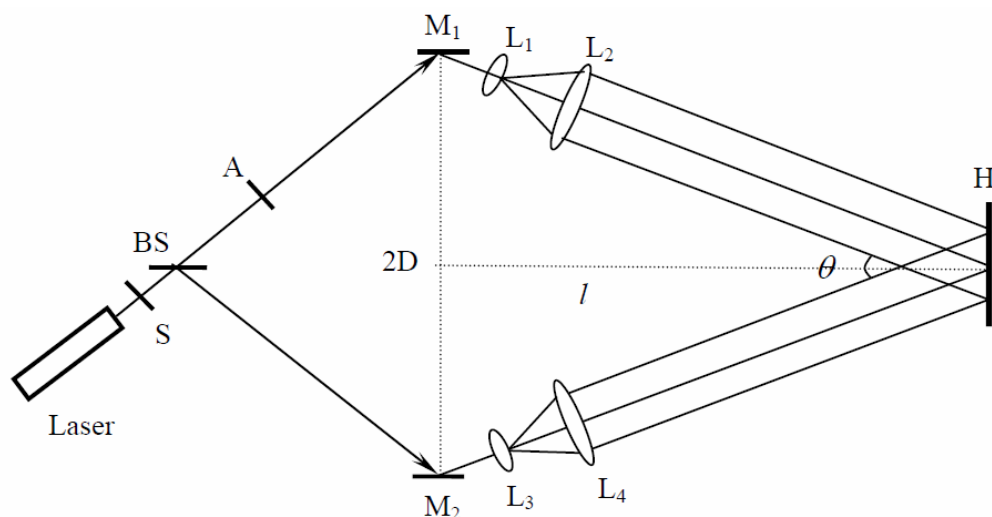


图1 全息光栅记录光路之一

在对称光路布置下，光栅周期 d 或空间频率 f_0 由下式确定：
$$d = \frac{1}{f_0} = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}。$$

式中， θ 是两束平行光之间的夹角， λ 是激光波长。由（1）式可以看出，通过改变两束光之间的夹角可以得到不同空间周期或频率的全息光栅，当 θ 减小时，周期 d 增大、频率 f_0 减小；对于低频光栅， θ 很小，利用小角度近似，可以用下

式来计算光栅的周期和频率： $d = \frac{1}{f_0} \approx \frac{\lambda}{\theta}$ 。从图1可知，在 θ 值较小时，有

$\tan(\theta/2) \approx \theta/2 = D/l$ ，将之代入（2）式可得： $d = \frac{1}{f_0} = \frac{l\lambda}{2D}$ 。实验中可用此式来估算低频光栅的空间周期和空间频率。

图2 所示光路是马赫—曾德干涉仪光路。由激光器发出的激光经M1反射、透镜L1和L2扩束准直后，变成平行光；该平行光束经分束镜BS1后被分为两束，一束经反射镜M2反射，再透过分束镜BS2后射向全息干板H；另一束经反射镜M3反射、再经分束镜BS2反射后射向全息干板H。图中S是电子快门，与曝光定时器相连，用于控制曝光时间。两平行光束在全息干板上交叠干涉，形成平行等距直线干涉条纹。全息干板经曝光、显影、定影、烘干等处理后，就得到一个全息光栅。所形成的全息光栅的空间周期和空间频率仍然可用（1）式和（2）式确

定。实验中可用图2(b)所示的方法来测量计算光栅的空间周期和空间频率，其中L 是焦距已知的透镜，把它放置在图2(a)所示光路中的全息干板H 处，在透镜后焦面上测量得到两平行光束会聚点之间的距离2D，则有

$\tan(\theta/2) \approx \theta/2 = D/f$ ，成立，将之代入(2)式可得 $d = \frac{1}{f_0} = \frac{f\lambda}{2D}$ 。采用图2 所示光路制作全息光栅时，实验中可用此式来估算低频光栅的空间周期和空间频率。

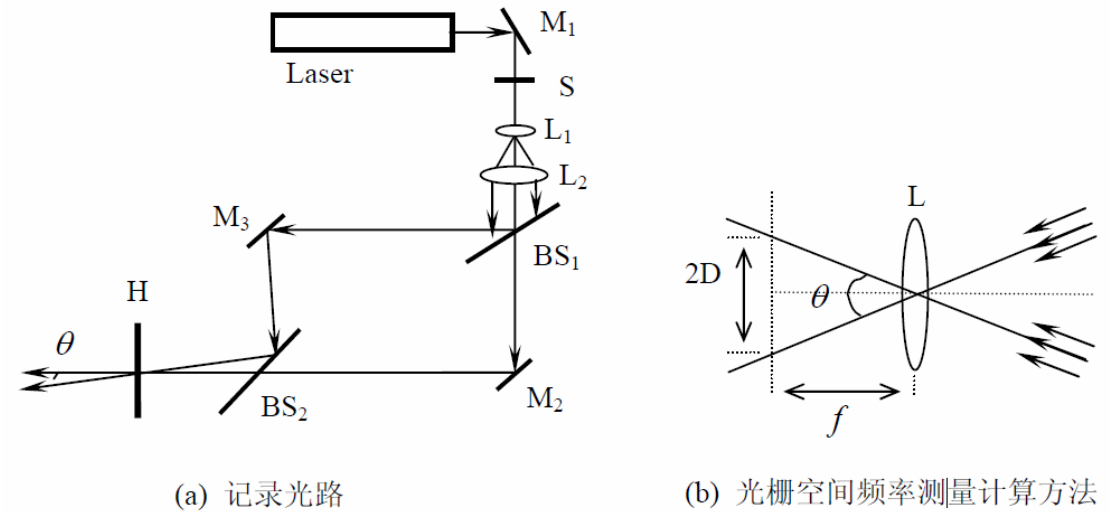


图2 全息光栅记录光路之二

2、测量光栅常数的方法

常用测量光栅常数的方法有下面三种：一是用测量显微镜直接测量；二是用分光计，根据光栅方程 $d \cdot \sin \theta = k \lambda$ 来测量；三是用衍射法测量，激光通过光栅衍

射，在较远的屏上，测出零级和一级衍射光斑的间距 Δx 及屏到光栅的距离L，则

光栅常数 $d = L / \Delta x$ 。本实验中建议用第三种方法进行测量。

【实验仪器】

全息实验台（包括激光源及各种镜头支架、载物台、底片夹等部件和固定这些部件所需的磁性表座）、全息照相感光胶片（全息干板）、暗室冲洗胶片的器材等。

【实验内容与步骤】

1、光路布置和调整

- (a) 首先保证从激光器出射的细激光束平行于台面；
- (b) 用细激光束调整光路中各元器件的高度和中心位置，并使各元器件的光轴平行于台面；
- (c) 按图1所示光路先放置好反射镜BS 和电子快门S；
- (d) 放置好分束镜BS，使光束尽量以45 度角入射，入射平行光被BS分成两束；
- (e) 一束经反射镜M1反射、透镜L1 和L2 扩束准直后，直接射向全息干板H；
另一束经反射镜M2 反射、透镜L3和L4 扩束准直后，也射向全息干板H。（此时以毛玻璃屏代替）上交叠；测量并记录两束光的夹角；
- (f) 熟悉了解电子快门和曝光定时器的使用。光路调整完毕后，将各调整底座固定好，不要再碰各元器件。

2、曝光

- (a) 按照激光器输出功率大小和所使用的全息干板来决定的曝光时间（一般由指导教师根据事先的实验给定），调整好曝光定时器；
- (b) 记下光束在毛玻璃屏上交叠的位置，关闭电子快门和室内灯光，取下干板架上的毛玻璃屏、换上全息干板，使全息干板的感光药膜面对着入射光束，此后不要再碰光学平台及其上面的各元器件，稳定一分钟左右；
- (c) 控制曝光定时器进行曝光。

3、显影、定影处理

把三个适当大小的水槽依次放置好，按自左至右（或反之）依次在其中加入适量的显影液、清水和定影液。将曝光后的全息干板取下来，按给定的显影、定影时间进行处理。处理完毕后用清水进行充分的冲洗，然后凉干，得到全息光栅。

4、观察实验结果

- (a) 将凉干后的光栅放置在支架上，用其中的一束平行光束垂直照射，激光通过光栅衍射，在较远的屏上，测出零级和一级衍射光斑的间距 Δx 及屏到光栅的距离L，则光栅常数 $d = L / \Delta x$ ；
- (b) 比较d的估算值与测量值之间的差距。

【注意事项】

- 1、所有光学元件不能用手摸、擦，必要时请用专用擦镜纸轻轻擦拭；
- 2、不要用眼睛直接对准激光束观察；
- 3、遵守暗室操作规程。