

基础物理实验内容的拓展 ——以光学中的干涉实验为例

罗锻斌

华东理工大学物理实验教学中心

关于实验的拓展

必要性：**客观上** 新知识、新技术的出现；
新的人才培养的要求；

主观上 提高学生兴趣；
克服职业倦怠

- 前提：
- 学生现有的专业知识相关（**能理解**）
 - 学生现有的实验能力（**能完成，可操作**）
 - 学生感兴趣、**有收获**
 - 现有的实验条件，如硬件、师资、耗材等（**能承受**）

关于实验的拓展

- 双光束与多光束干涉实验的拓展
- 全息光栅实验的拓展

为什么选择这类实验？

基础内容

学生专业

技术应用

光场调制、光势阱、光学微纳材料制备等等

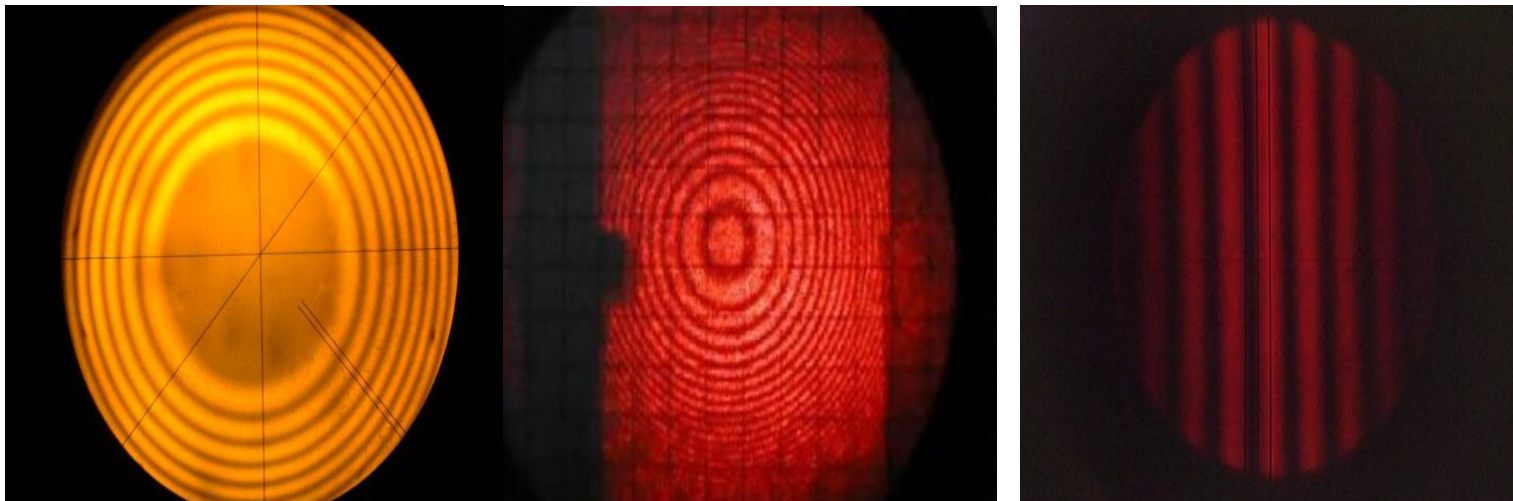
• 双光束与多光束干涉实验的拓展

分波前干涉

菲涅尔双棱镜、菲涅尔双面镜、劳埃镜

分振幅干涉

牛顿环、劈尖、迈克尔逊干涉实验、马赫-曾德干涉实验



• 双光束与多光束干涉实验的拓展

1、马赫-曾德干涉实验光路及光波波矢的合成

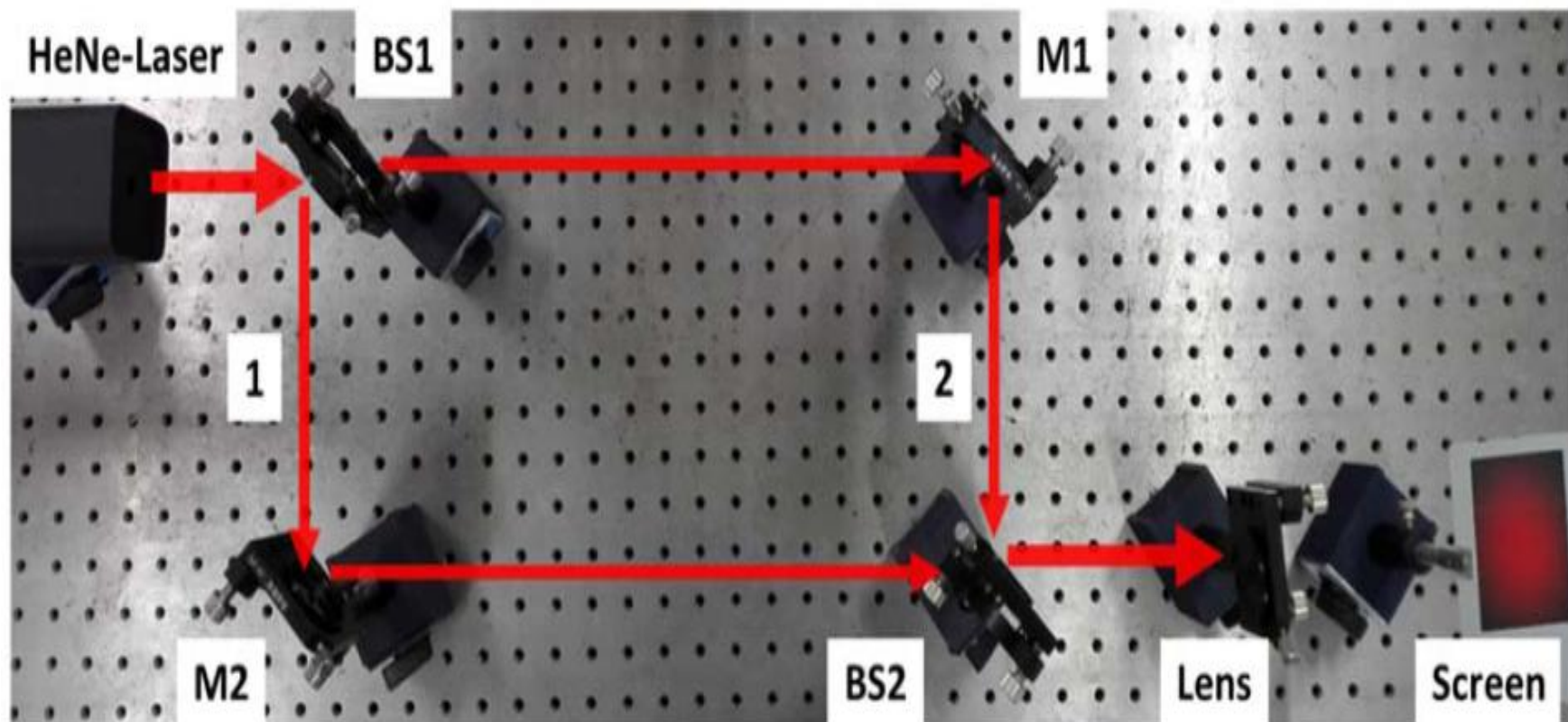
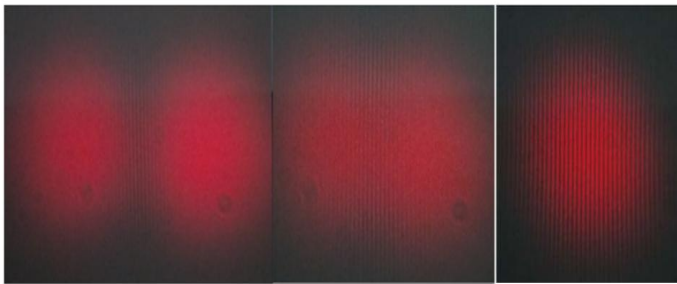
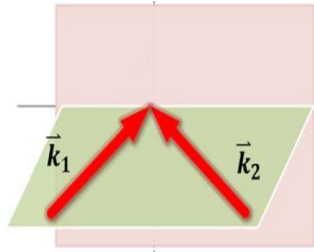


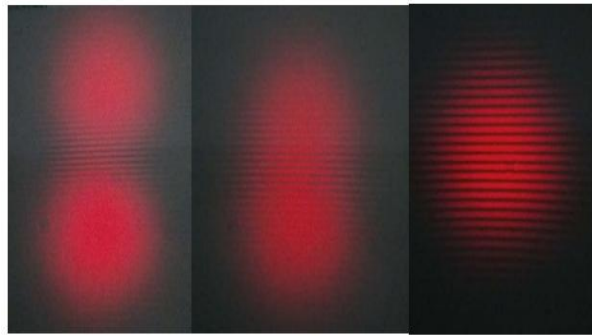
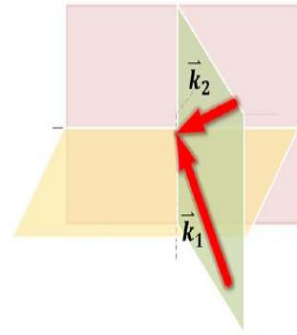
图 1 实验光路图，BS1、BS2：分束器；M1、M2：反射镜；Lens：扩束镜；
Screen：白屏

• 双光束与多光束干涉实验的拓展

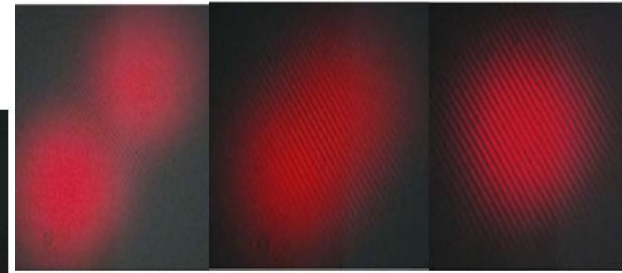
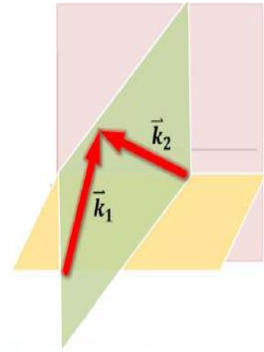
1、马赫-曾德干涉实验光路及光波波矢的合成



(a)



(b)



(c)

由图可知，调节波矢方向就可以看到不同波矢组合下的不同明暗条纹分布，使我们对双光束干涉所涉及的波矢叠加合成具有更深一步的认识。

• 双光束与多光束干涉实验的拓展

2、组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（三光束）

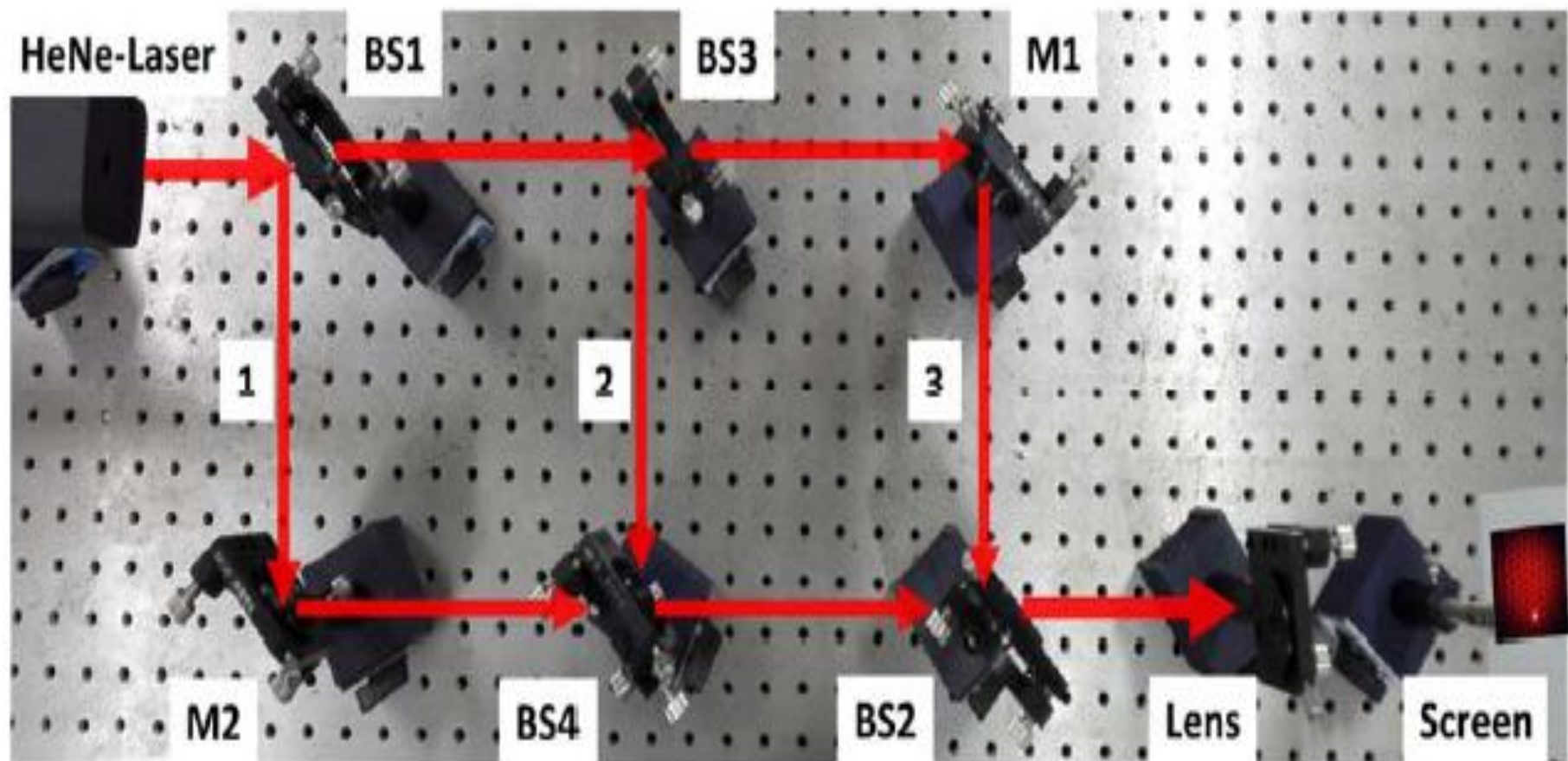


图3 实验光路图, BS1、BS2、BS3、BS4: 分束器; M1、M2: 反射镜; Lens: 扩束镜; Screen: 白屏

• 双光束与多光束干涉实验的拓展

2、组合马赫-曾德

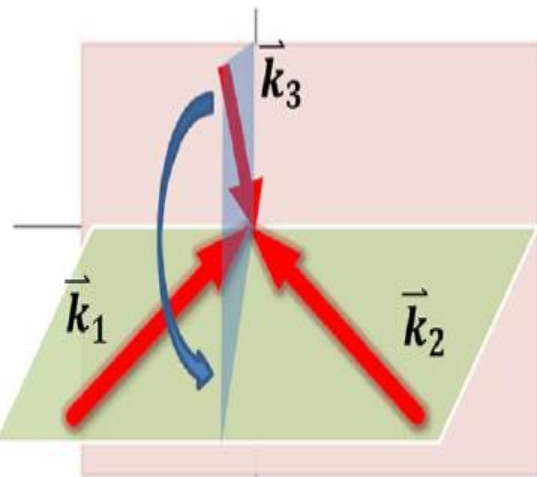


图4 三光束叠加波矢方向结构图

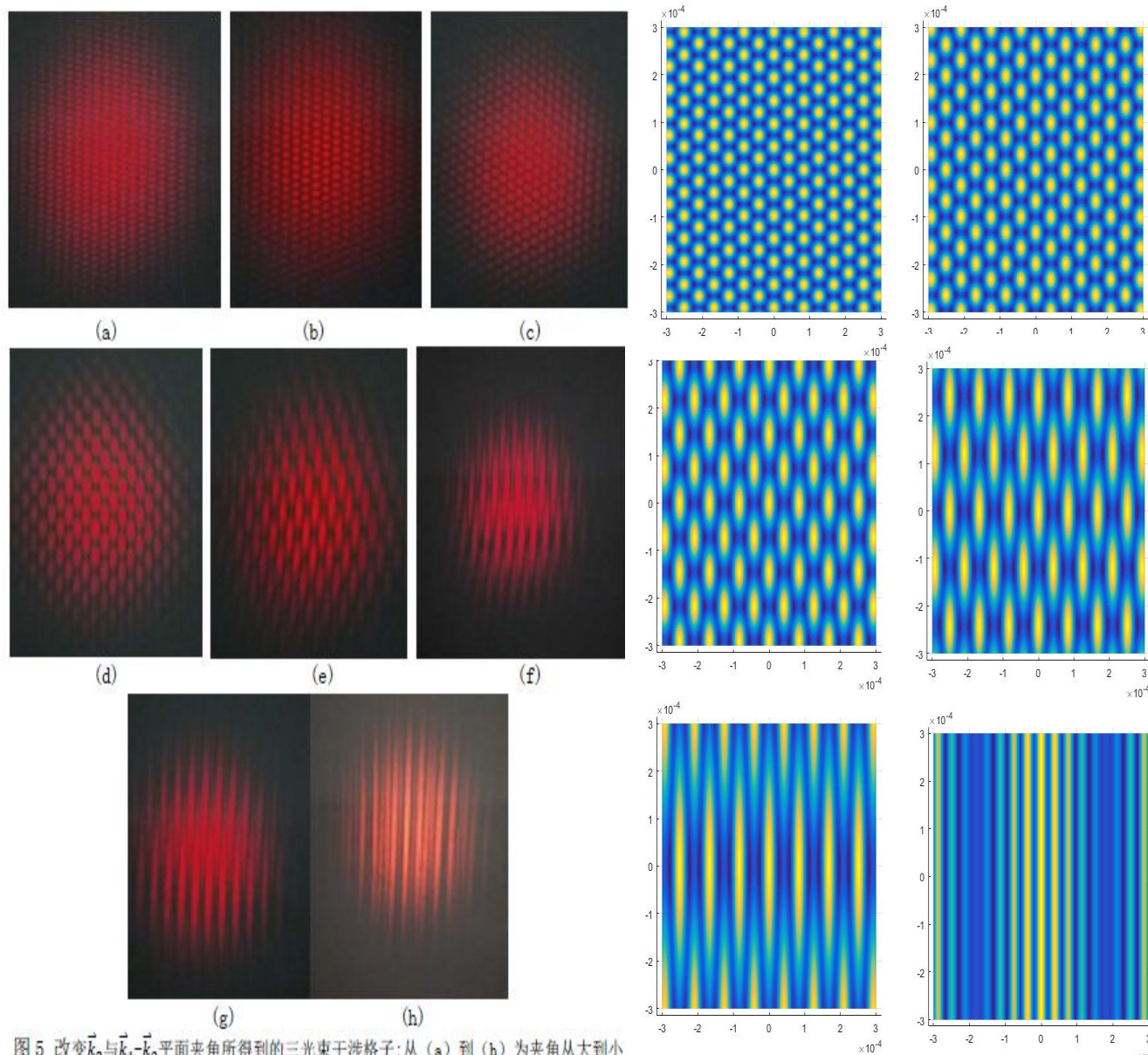


图5 改变 \vec{k}_3 与 \vec{k}_1 - \vec{k}_2 平面夹角所得到的三光束干涉格子:从(a)到(h)为夹角从大到小依次减小。

2、组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（三光束）

研究偏振对光学格子的影响（实验中，三束光以对称方式入射）

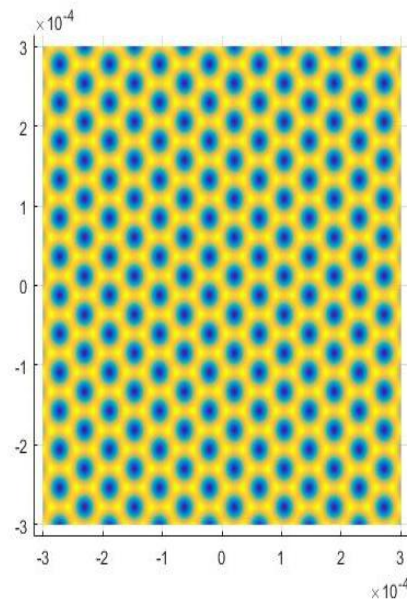
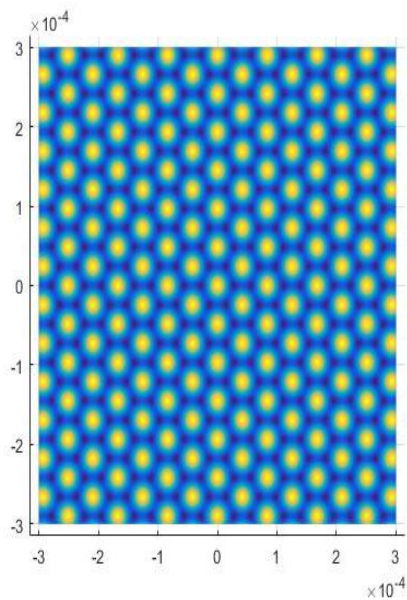
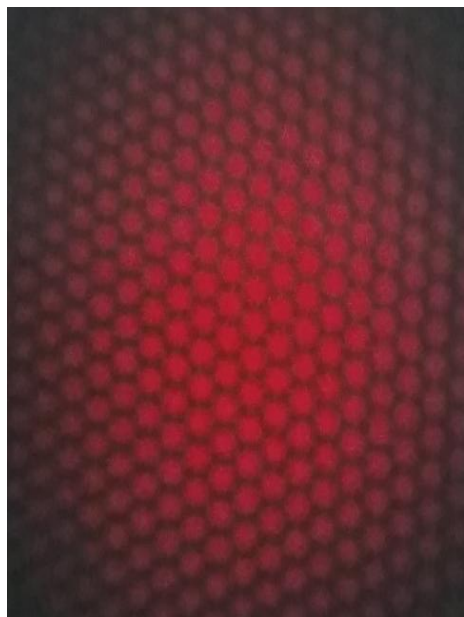
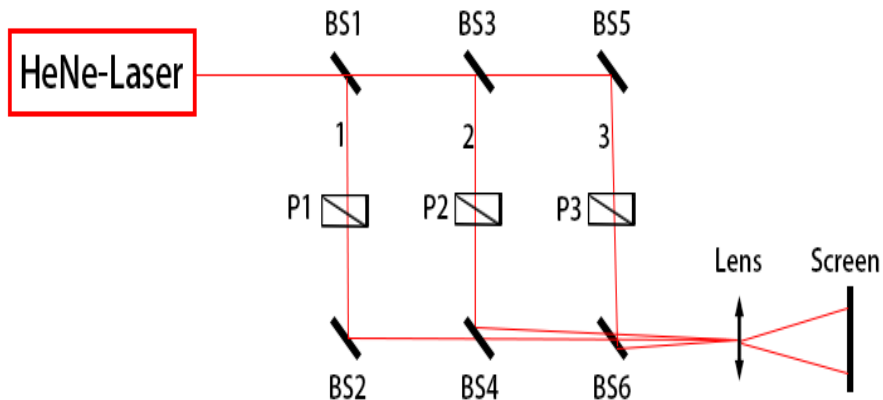
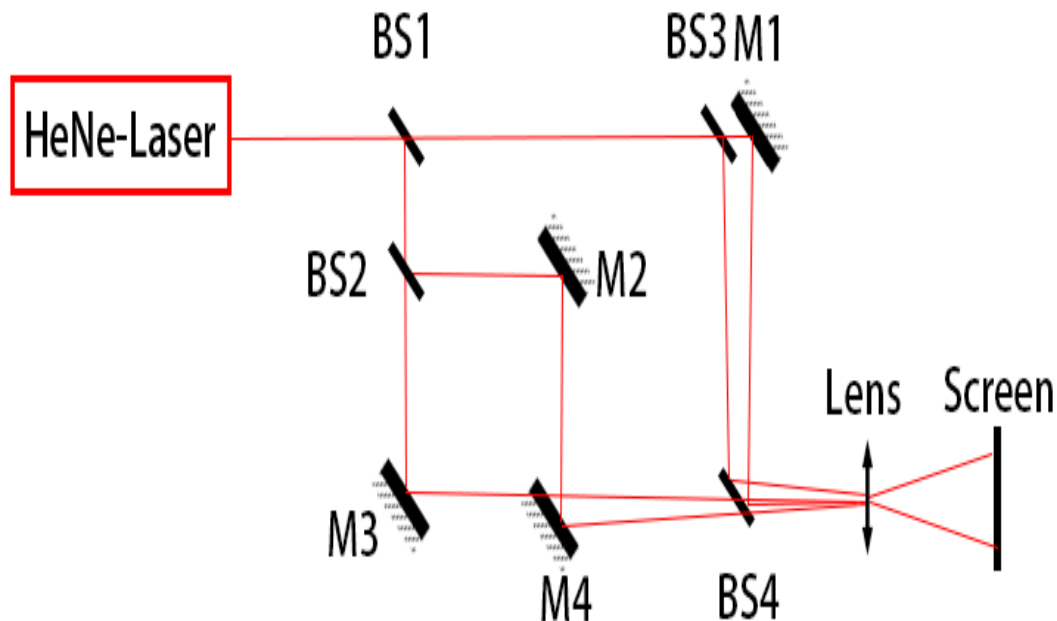


图 12(p_1, p_2, p_3)=(0,0,0)

图 13 (p_1, p_2, p_3)=(0,60,120)

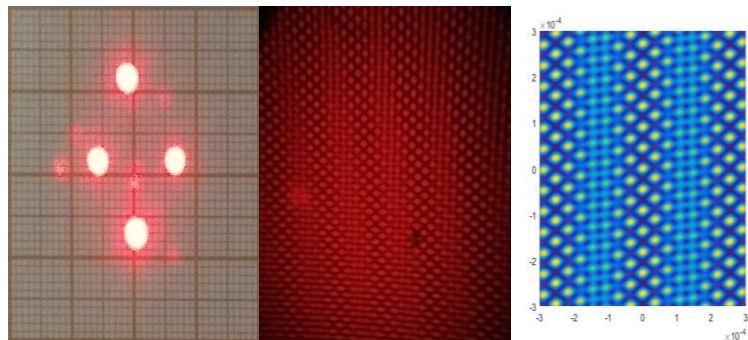
3、组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（四光束）



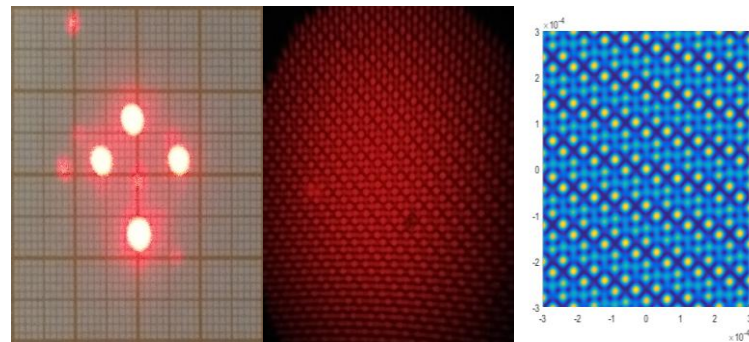
经过对镜面大小、光强、调节难易程度等因素的综合考虑，左图的光路。透射过BS1的光束始终保持等高，而经过M3和M4的光束在竖直方向上错开。最后四束光由BS4重新汇聚在一个方向上。

在透镜之前合适的距离上再加一个贴有方格纸的可以转动的屏，由于四束光最后都汇聚到扩束镜上，因此，观察并记录完干涉图案后可以转动屏使方格纸挡住光路，在方格纸上的这些亮点的位置就可以表征光束入射的角度。

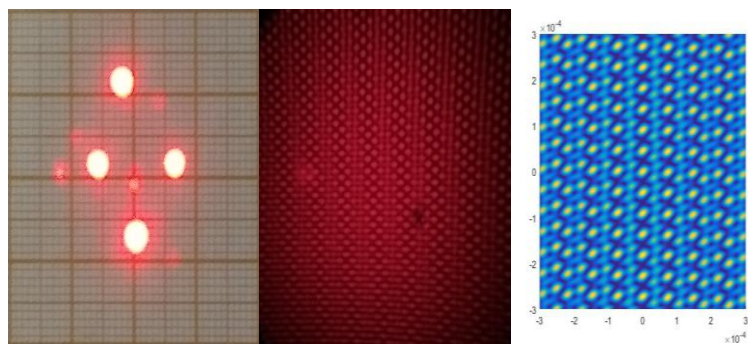
3、组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（四光束）



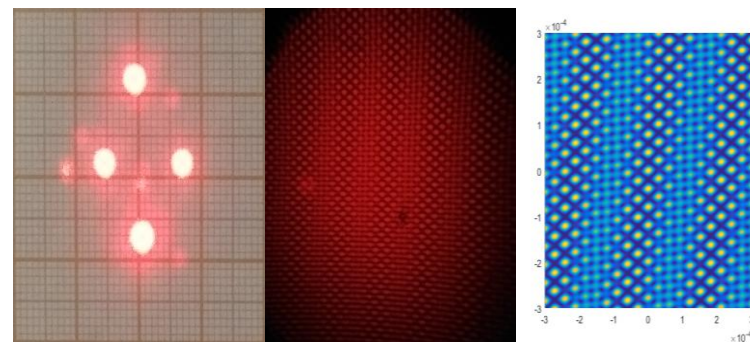
(a)



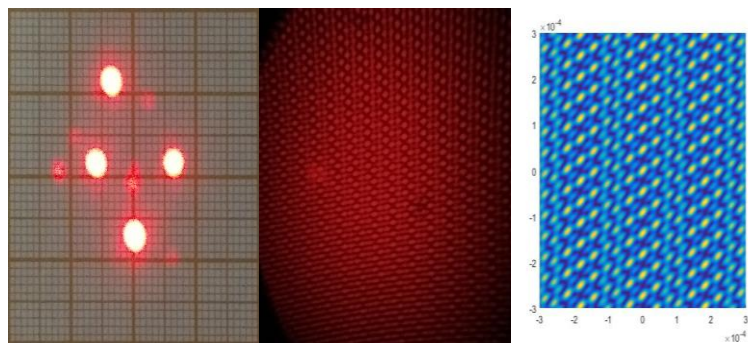
(d)



(b)



(e)



(c)

3、组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（四光束）

$$\vec{E} = A e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} \quad (1)$$

$$I = \left| \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \right|^2 = \left| \sum_{i=1}^n A_i e^{i\vec{k}_i\cdot\vec{r}_i} \right|^2 \quad (2)$$

%光场振幅

```

E_1=1;
E_2=1;
E_3=1;
E_4=1;

%polarization angle
p_1=0;
p_2=0;
p_3=0;
p_4=0;

%direction angle
d_1=0*pi/180;
d_2=120*pi/180;
d_3=180*pi/180;
d_4=270*pi/180;

%incident angle
i_1=5*pi/180;
i_2=5*pi/180;
i_3=5*pi/180;
i_4=5*pi/180;

k1x=-k*sin(i_1)*cos(d_1);
k1y=-k*sin(i_1)*sin(d_1);
k1z=-k*cos(i_1);
k2x=-k*sin(i_2)*cos(d_2);
k2y=-k*sin(i_2)*sin(d_2);
k2z=-k*cos(i_2);
k3x=-k*sin(i_3)*cos(d_3);
k3y=-k*sin(i_3)*sin(d_3);
k3z=-k*cos(i_3);
k4x=-k*sin(i_4)*cos(d_4);
k4y=-k*sin(i_4)*sin(d_4);
k4z=-k*cos(i_4);

e_12=cosd(p_1-p_2);
e_13=cosd(p_1-p_3);
e_14=cosd(p_1-p_4);
e_23=cosd(p_2-p_3);
e_24=cosd(p_2-p_4);
e_34=cosd(p_3-p_4);
    
```

$$\begin{aligned}
 I = & E_1 * E_1 + E_2 * E_2 + E_3 * E_3 + E_4 * E_4 \\
 & + 2 * E_1 * E_2 * e_{12} * \cos((k1x - k2x) * X + (k1y - k2y) * Y + (k1z - k2z) * Z) \\
 & + 2 * E_1 * E_3 * e_{13} * \cos((k1x - k3x) * X + (k1y - k3y) * Y + (k1z - k3z) * Z) \\
 & + 2 * E_1 * E_4 * e_{14} * \cos((k1x - k4x) * X + (k1y - k4y) * Y + (k1z - k4z) * Z) \\
 & + 2 * E_2 * E_3 * e_{23} * \cos((k2x - k3x) * X + (k2y - k3y) * Y + (k2z - k3z) * Z) \\
 & + 2 * E_2 * E_4 * e_{24} * \cos((k2x - k4x) * X + (k2y - k4y) * Y + (k2z - k4z) * Z) \\
 & + 2 * E_3 * E_4 * e_{34} * \cos((k3x - k4x) * X + (k3y - k4y) * Y + (k3z - k4z) * Z);
 \end{aligned}$$

组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（三光束）

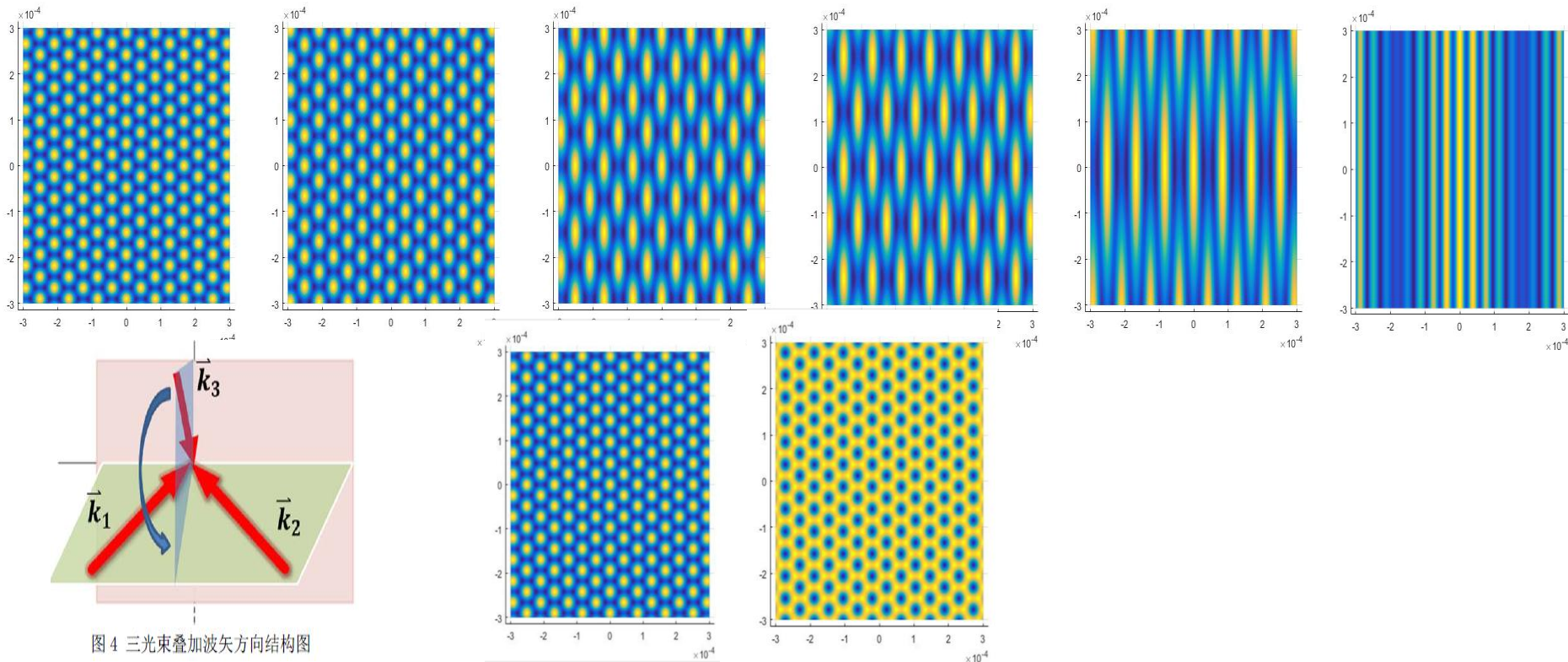
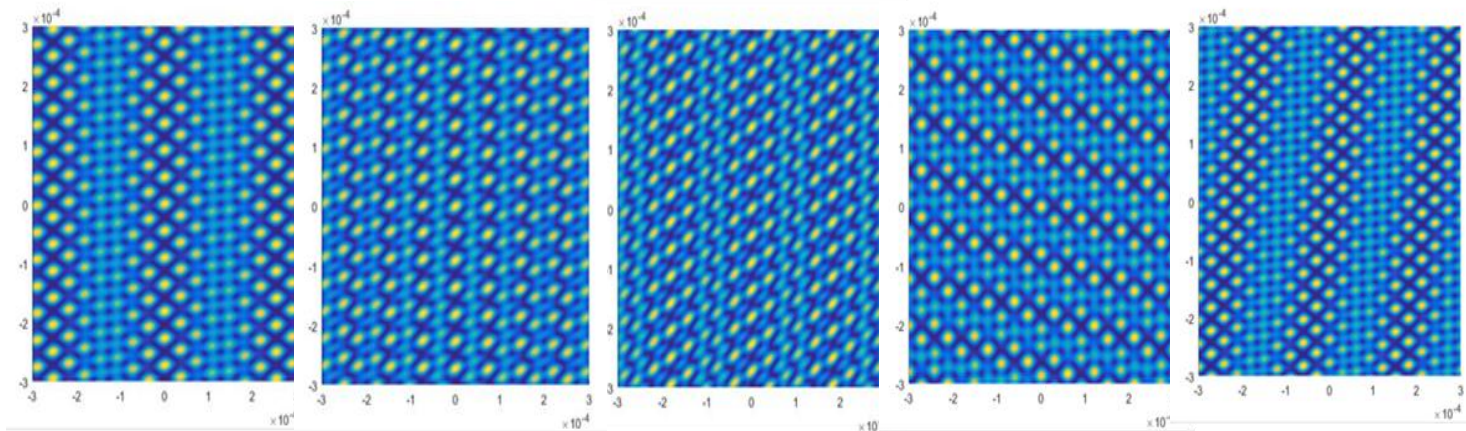


图4 三光束叠加波矢方向结构图

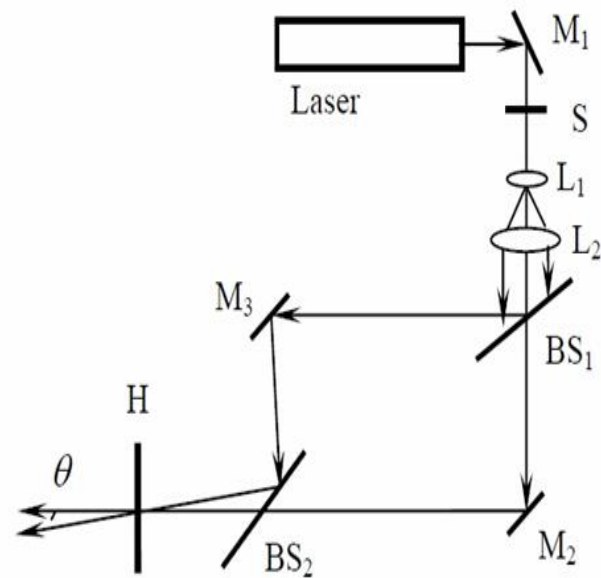
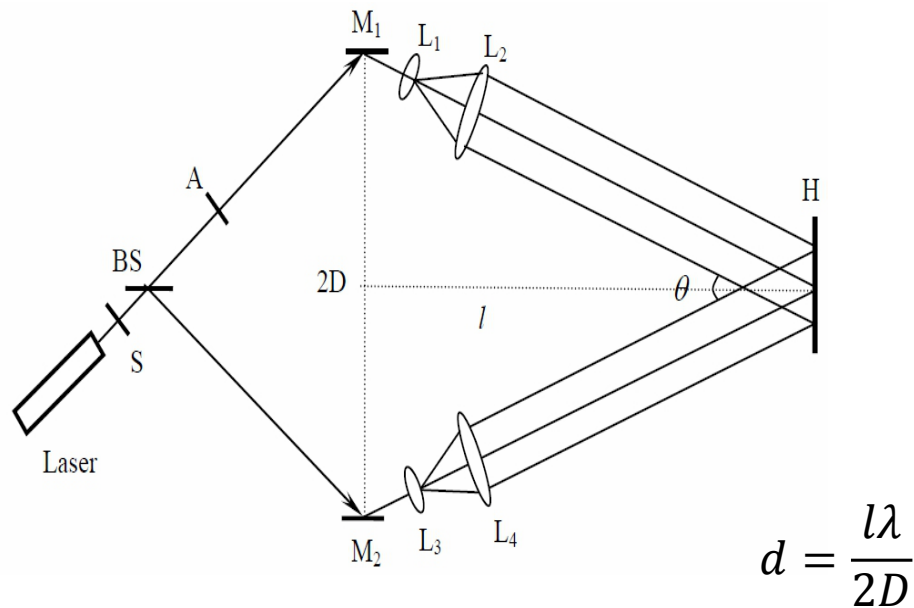
组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（四光束）



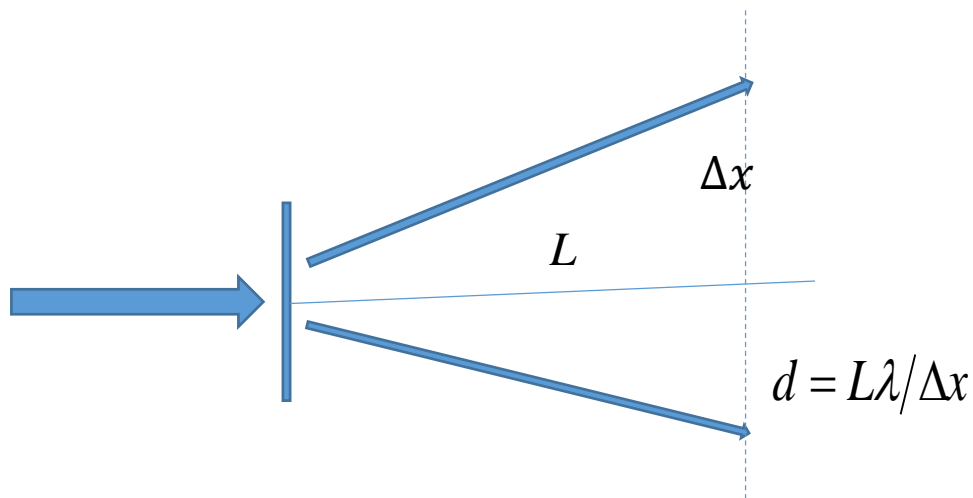
- 全息光栅制作实验的拓展

利用马赫曾德干涉光路制备全息
二维光栅

• 全息光栅制作实验的拓展

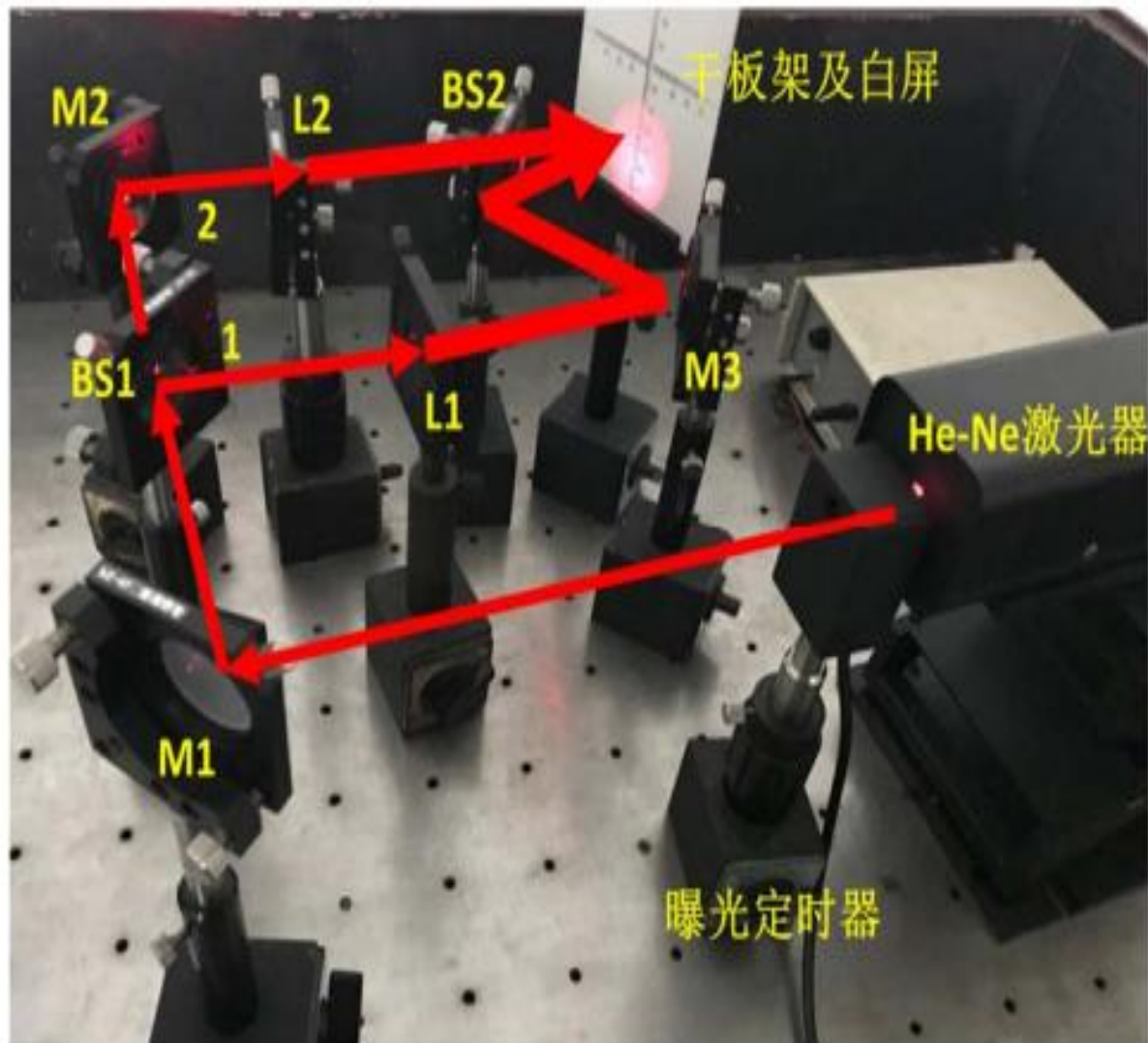


(a) 记录光路



• 全息光栅制作实验的拓展

利用马赫曾德干涉光路制备全息二维光栅



1、不同的光路

2、多重记录

• 全息光栅制作实验的拓展

利用马赫曾德干涉光路制备全息二维光栅

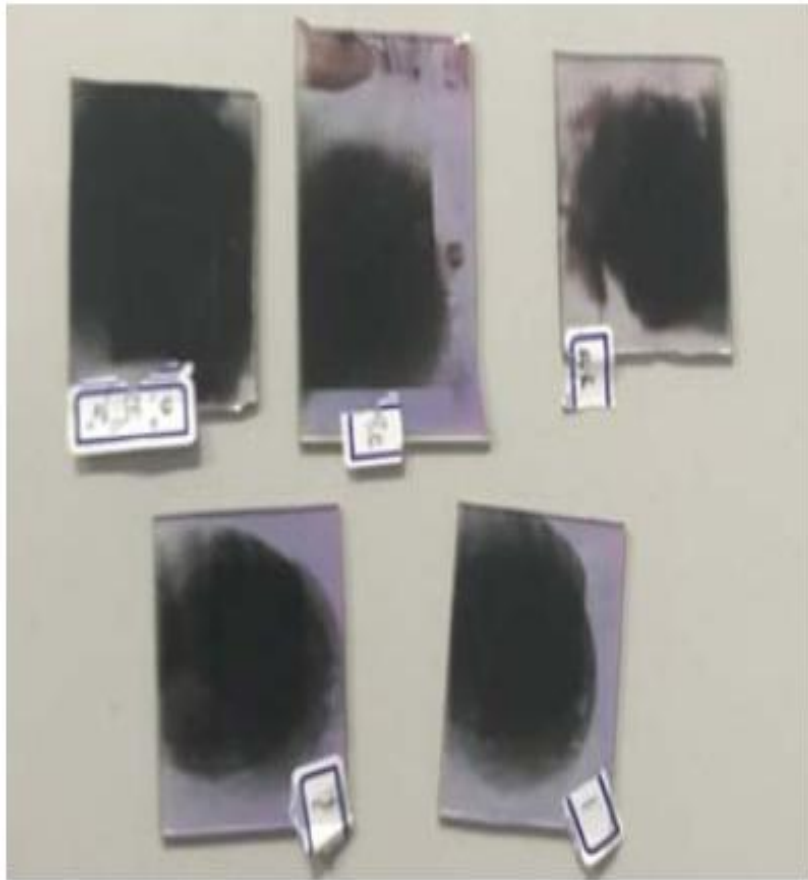


图 2 曝光冲洗后的部分全息干版

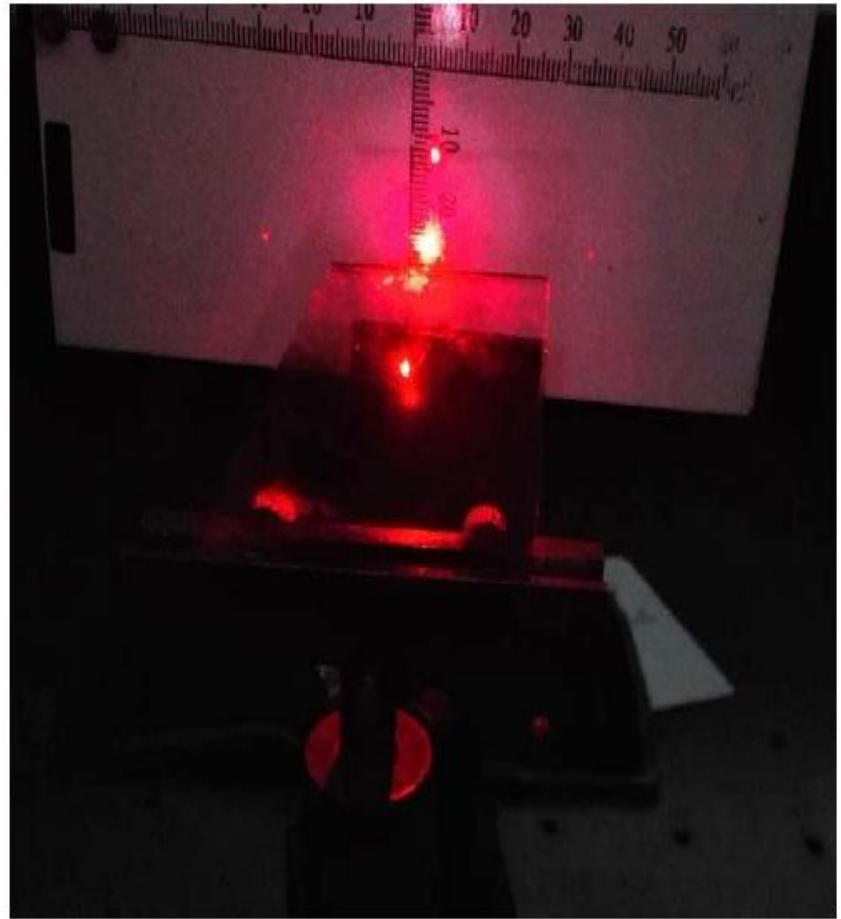
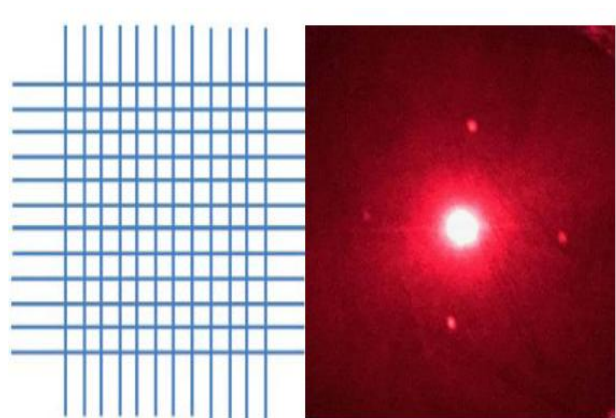


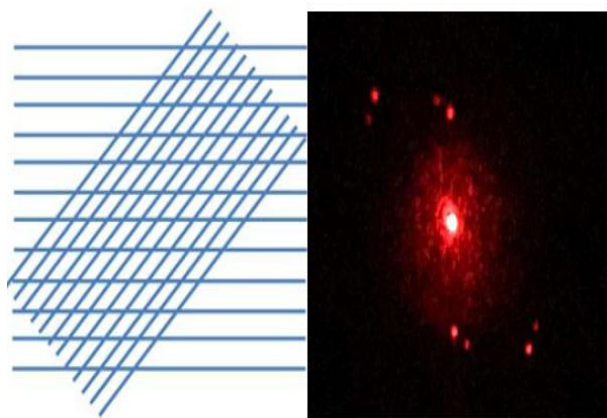
图 3 全息光栅的衍射光路和光点分布

• 全息光栅制作实验的拓展

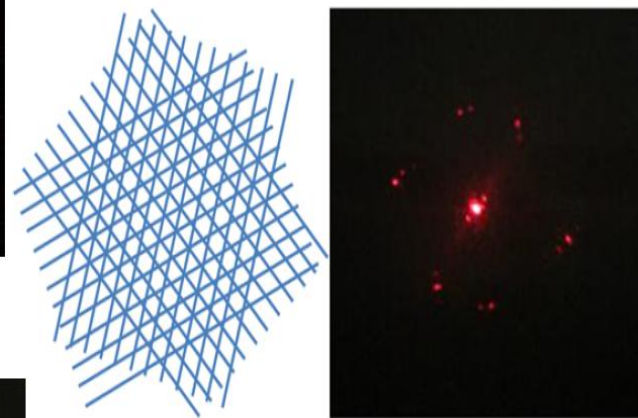
利用马赫曾德干涉光路制备全息二维光栅



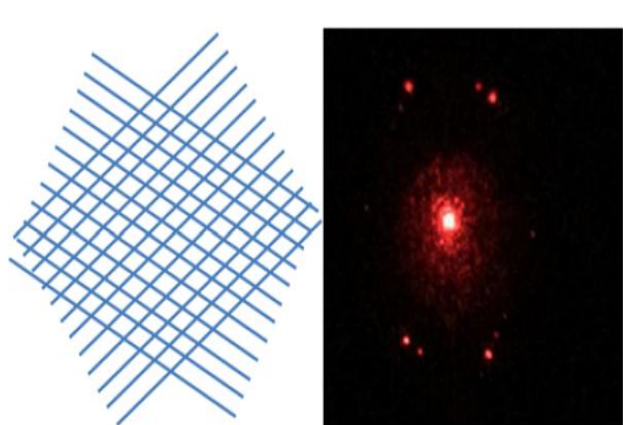
(a)



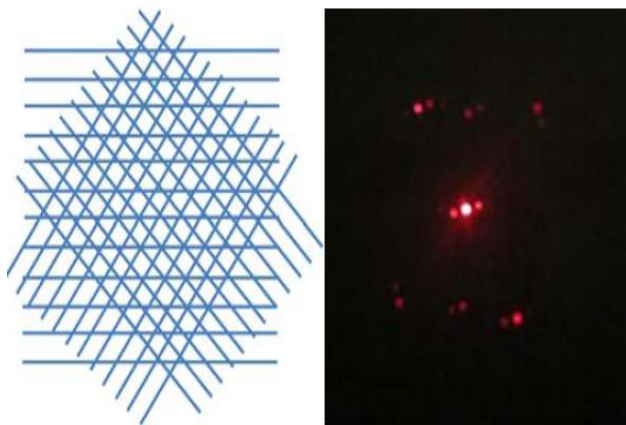
(c)



(e)



(b)



(d)

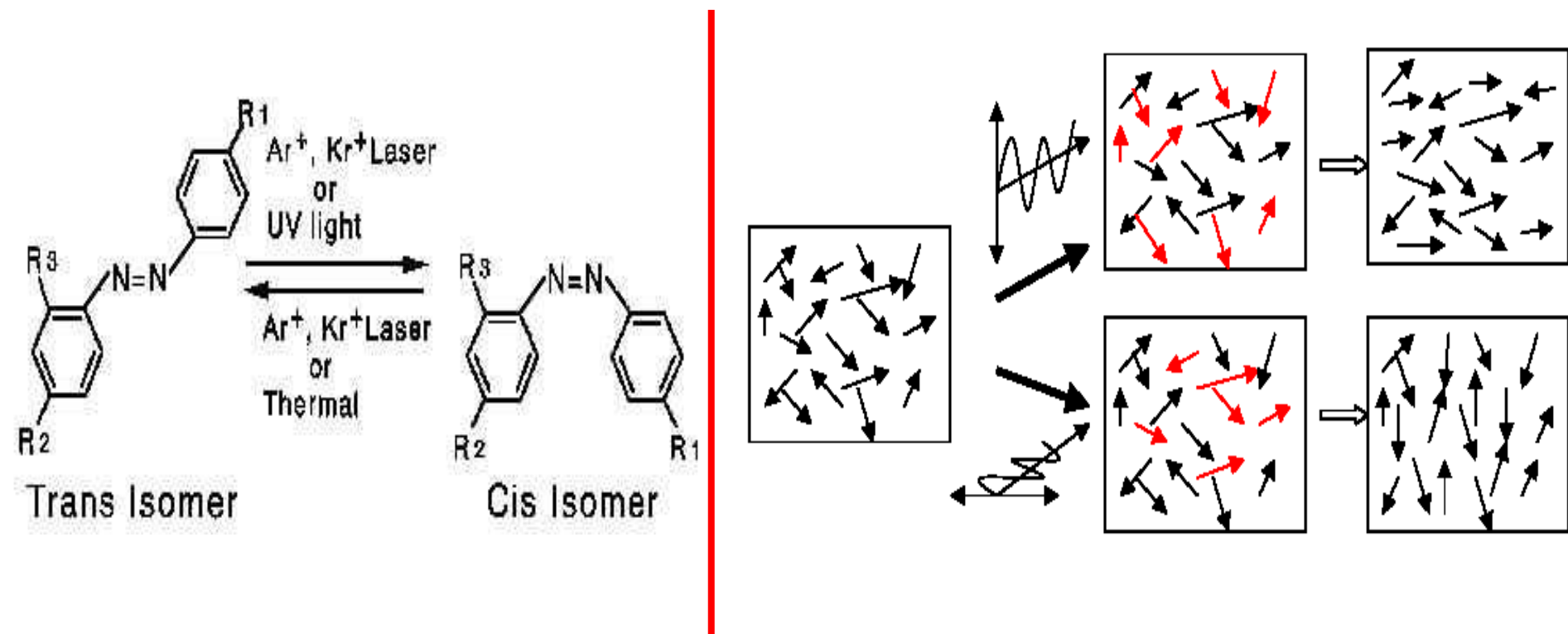
二维光栅的衍射光斑及其光栅结构示意图

- 全息光栅制作实验的拓展

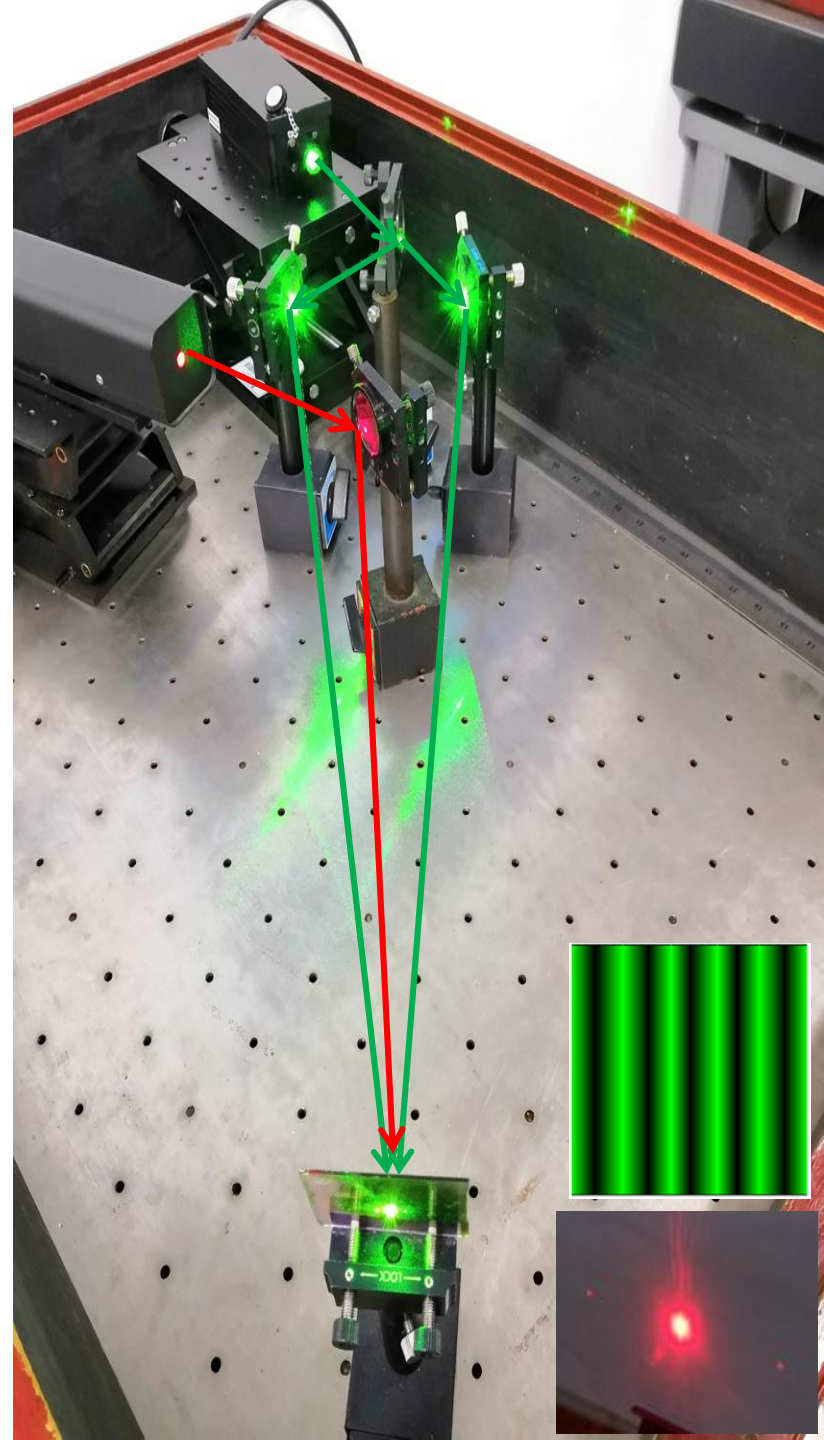
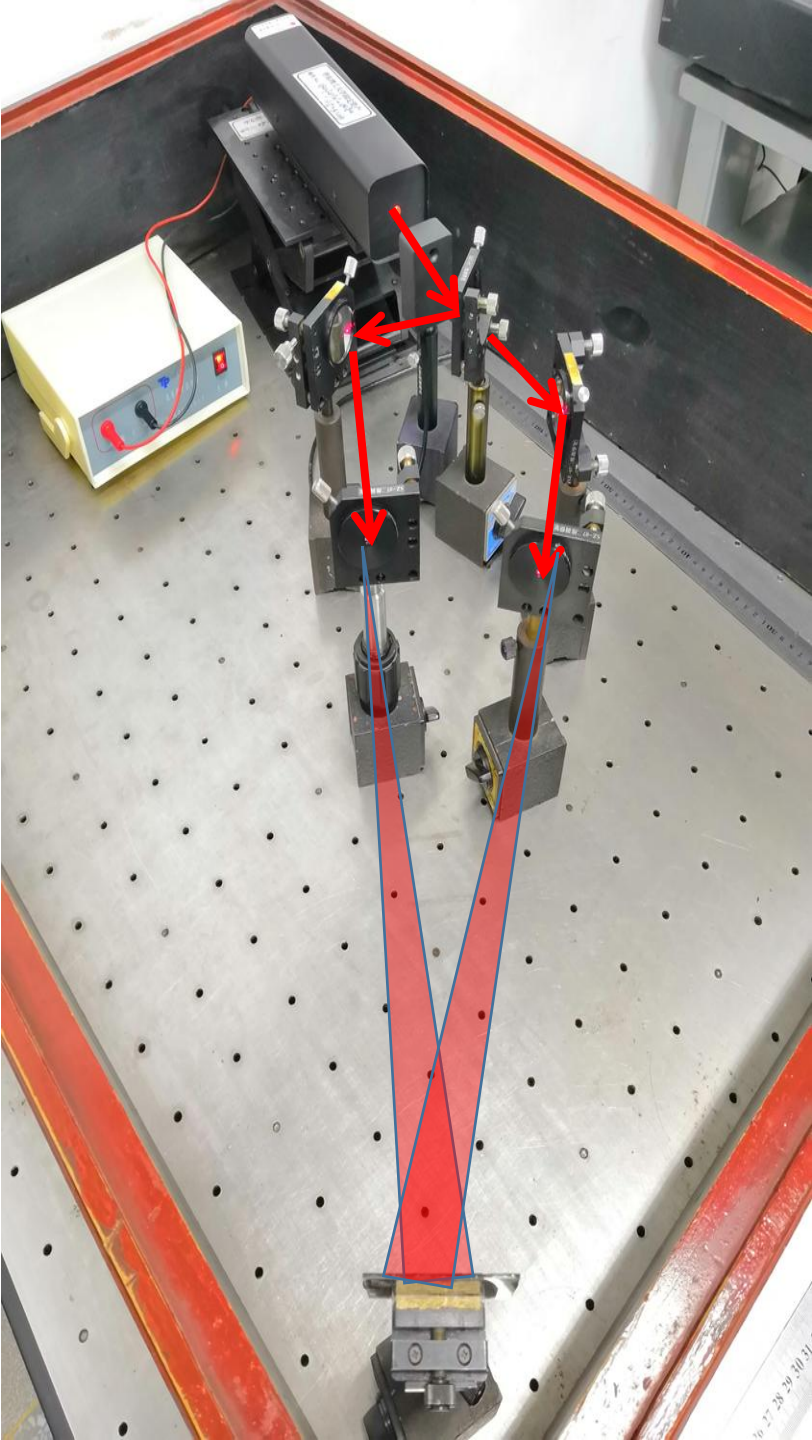
基于光敏分子取向机制的全息光栅制作实验

• 全息光栅制作实验的拓展

基于光敏分子取向机制的全息光栅制作实验



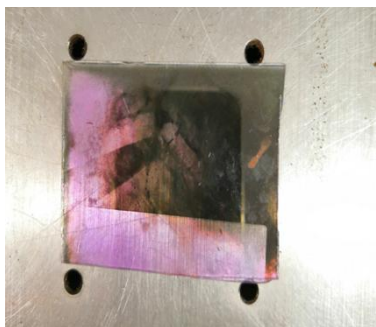
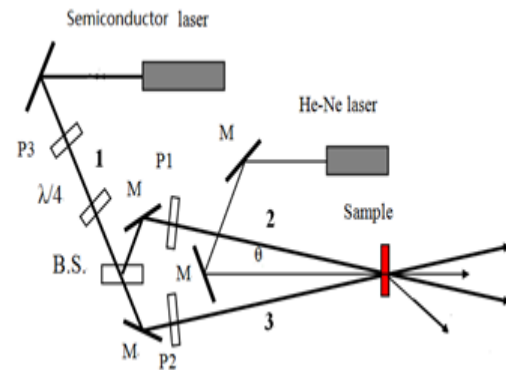
在适当波长的线偏振光照射下，偶氮分子通过顺反异构化循环，最终趋于与偏振光方向垂直的取向，从而使样品产生光学各向异性（双折射效应和二色性效应）





样品：感光底片

主客掺杂
分散红13
(DR13)
偶氮染料
的有机玻
璃薄膜样
品

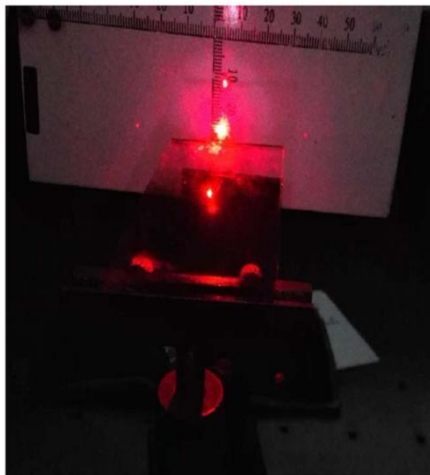
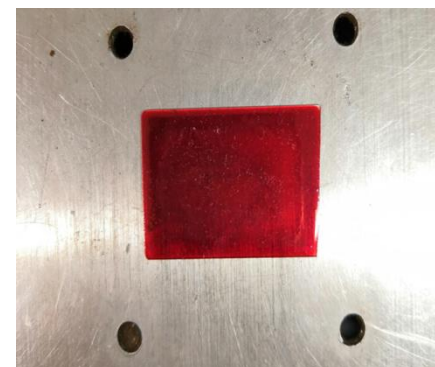


曝光过程：暗室

正常照明

底片冲洗：暗室

无



光栅检测：另搭建光路

原光路

样品回收：一次性

十年以上

环境影响：废液回收

可忽略

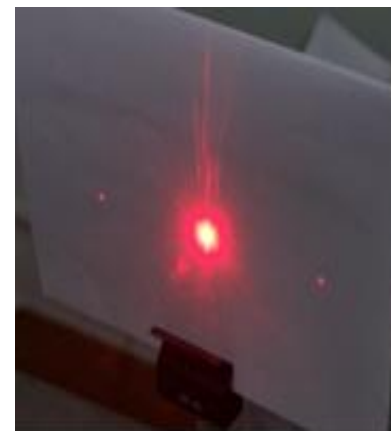


图3 全息光栅的衍射光路和光点分布

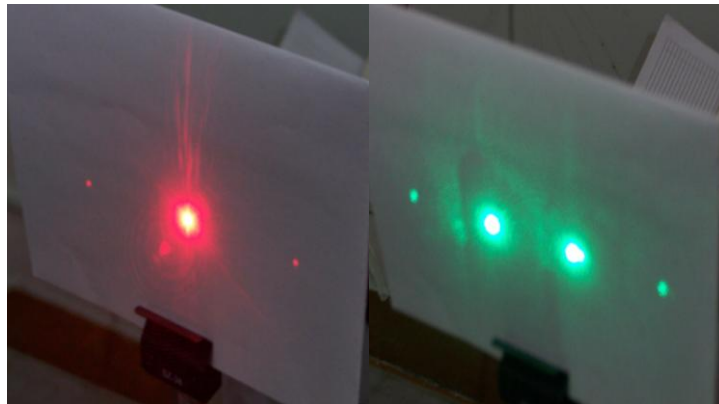
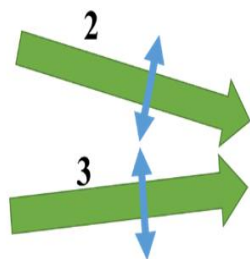
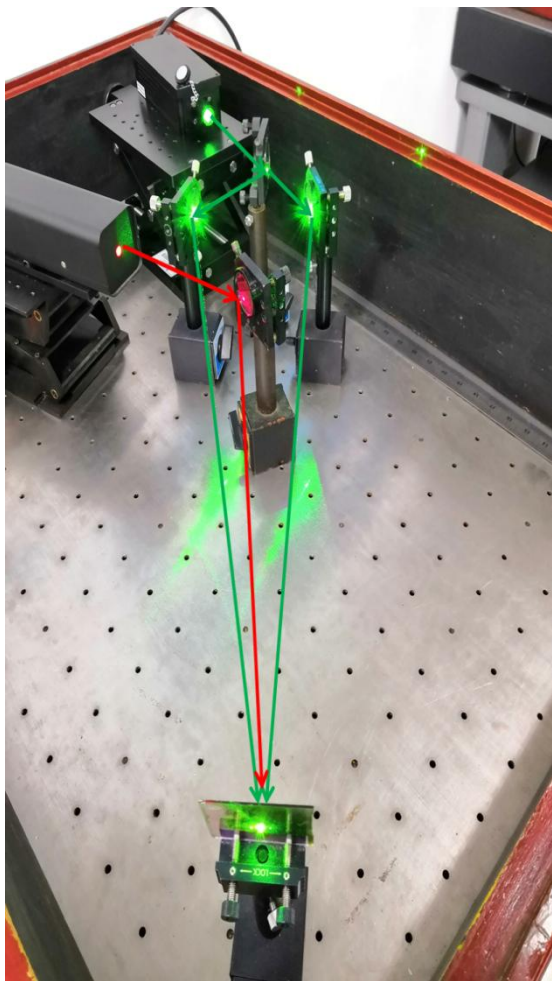
- 全息光栅制作实验的拓展

基于光敏分子取向机制的双光束
干涉中偏振态分布的演示实验

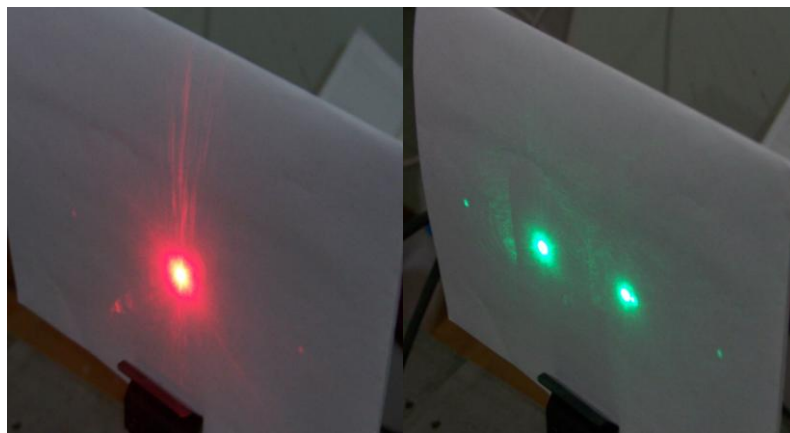
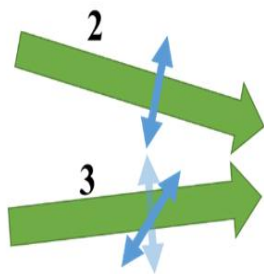
• 全息光栅制作实验的拓展

基于光敏分子取向机制的双光束干涉中偏振态分布的演示实验

干涉的相干条件



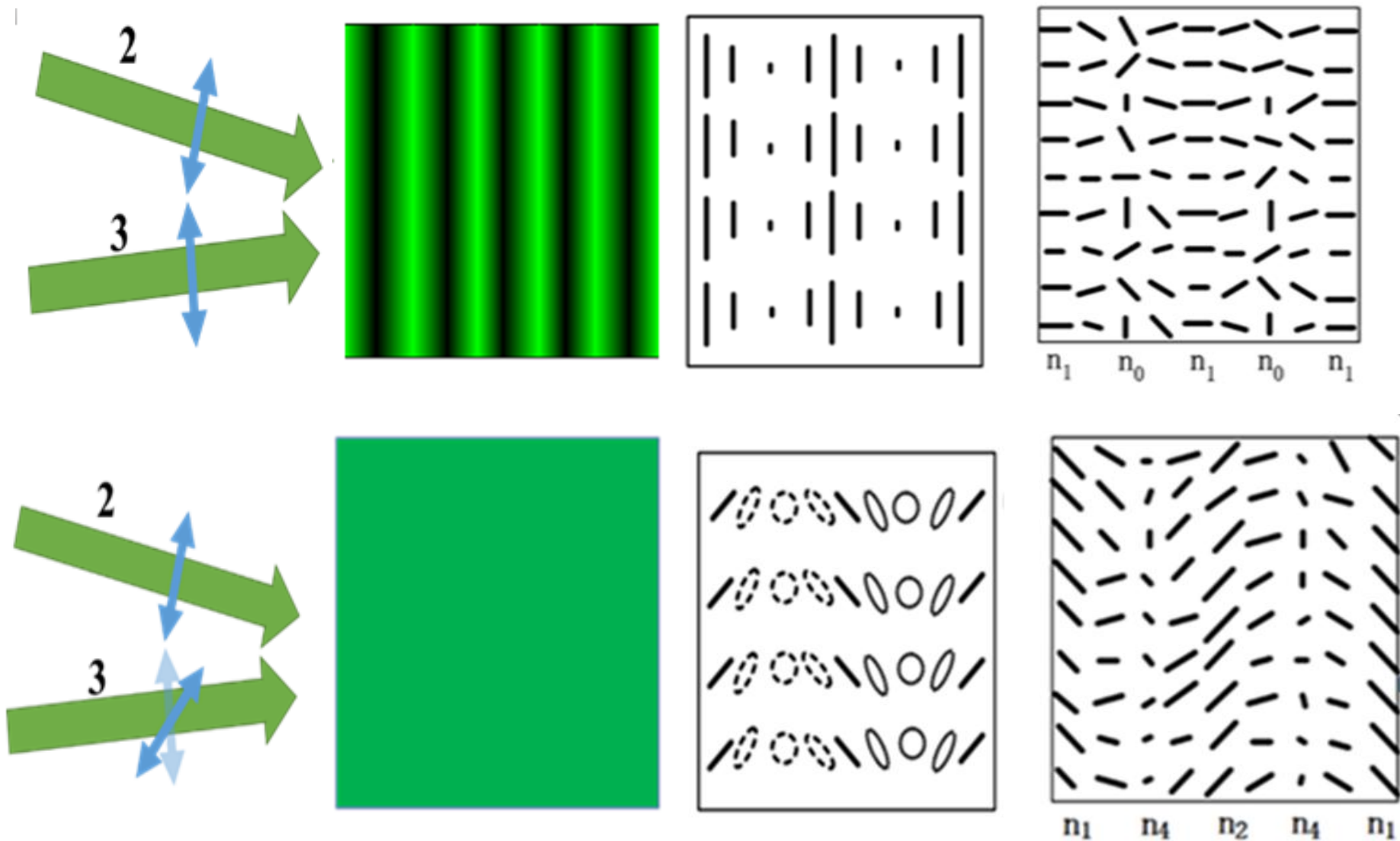
(a) P1、P2 相互平行, 光束 2 和光束 3 均为线偏振且它们的电场矢量方向垂直于入射平面



(a) P1、P2 相互垂直时(分别为 $\pm 45^\circ$ 偏振)

• 全息光栅制作实验的拓展

基于光敏分子取向机制的双光束干涉中偏振态分布的演示实验

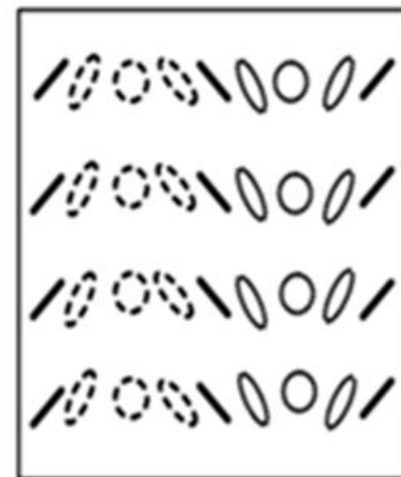
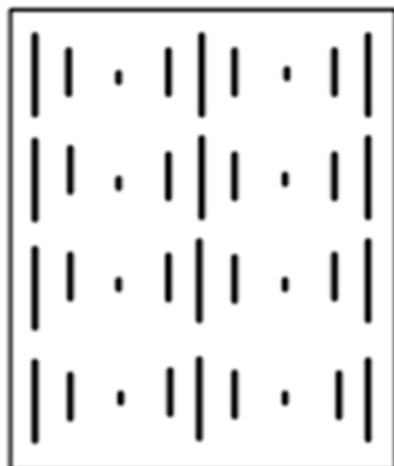
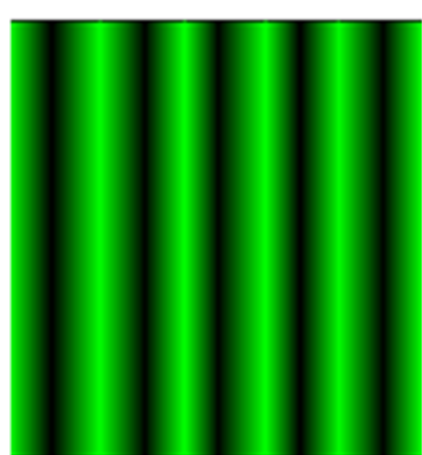


• 全息光栅制作实验的拓展

基于光敏分子取向机制的双光束干涉中偏振态分布的演示实验

双光束干涉，有偏振态有平行分量，能够形成光强的周期分布（光强的调制）；

双光束干涉，偏振态相互垂直，不能形成光强的周期分布，但可以形成偏振态的周期分布（偏振态的调制）。



小结:

- 马赫-曾德干涉实验光路及光波波矢的合成
- 组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（三光束）
- 组合马赫-曾德干涉光路“编织”二维光学格子（四光束）
- 利用马赫曾德干涉光路制备全息二维光栅
- 基于光敏分子取向机制的全息光栅制作实验
- 双光束干涉中偏振态分布的演示实验

- 如何在基础物理实验教学中进行适当拓展，提高学生兴趣？
- 如何在基础物理实验内容中融入新的研究内容拓展学生的专业视野？
-

请多指教！ 谢谢！