

一个简易的旋转偏振方向的方法

王雅黎

一、问题的提出

众所周知,全息记录就是引入一束相干的参考光,使之与信号光干涉,在照相记录介质上记录下包括振幅,位相的全部信息。为了进行全息记录,必须使用频率、振动方向相同,位相差保持恒定的两束(或多束)相干光。实验上为了方便,一般使用振动方向与工作台面垂直的光振动。这样当使用平面反射镜来改变光传播方向时,光振动始终与工作台面垂直。这就给实验工作带来了极大的方便。但由于有些激光器,如北京、上海等厂家出产的He—Ne激光器,输出激光的光振动方向一般都与底板不垂直,所以必须旋转偏振方向,以适于实验。有时由于特殊需要也要把偏振方向转过一定角度,这就提出了一个问题:如何才能在极小地损失能量和不改变偏振态的条件下简易地旋转光矢量的方向?

本文从理论上论证了使用两片平面反射镜改变偏振方向同时不改变偏振态的可能,并给出了实验上实现它的方法。这个方法的特点是操作简单、迅速,并且几乎不损失光能和光的偏振度。

二、理论分析与论证

在均匀、各向同性透明电介质边界面上,折、反射振幅分布的非涅耳公式为:

$$\frac{E'_{1s}}{E_{1s}} = -\frac{\sin(i-\gamma)}{\sin(i+\gamma)}$$

$$\frac{E'_{1p}}{E_{1p}} = \frac{\text{tg}(i-\gamma)}{\text{tg}(i+\gamma)}$$

$$\frac{E_{2s}}{E_{1s}} = \frac{2\sin\gamma\cos i}{\sin(i+\gamma)}$$

$$\frac{E_{2p}}{E_{1p}} = \frac{2\sin\gamma\cos i}{\sin(i+\gamma)\cos(i-\gamma)}$$

其中*i*、 γ 分别为入射角和折射角。 E_{1s} 、 E_{1p} 分别为入射光振动的垂直和平行于入射面分量; E'_{1s} 、 E'_{1p} 分别为反射光振动的垂直和平行于入射面分量; E_{2s} 、 E_{2p} 分别为透射光振动垂直和平行于入射面分量。

由菲涅耳公式知,当入射光振动与入射面成任意方位时,(当然光振动总是垂直于入射方向的)经反射后,反射光的光振动方位比较复杂,是入射角和折射率等的函数。对于金属反射镜来说,情况就更复杂了,此时反射光变为椭圆偏振光,改变了偏振态。

但是分析菲涅耳公式,我们看到:垂直于(或平行于)入射面的光振动反射后仍是垂直于(或平行于)入射面的光振动。这一点对于金属反射镜也同样成立,这是非常重要的,因为我们实验中多数应用的就是这种反射镜。利用这个特点,使用两面平面反射镜就能在不改变偏振态的条件下把光振动调整到需要的方向上去。论证如下:

在如图1所示的坐标系中,设激光器放于平行于*y*轴的方向上,工作台面平行于OXY面,两反射镜为*M*₁和*M*₂,由激光器输出的光记为I,经*M*₁反射后的光记为II,经*M*₂反射后的光记为III。

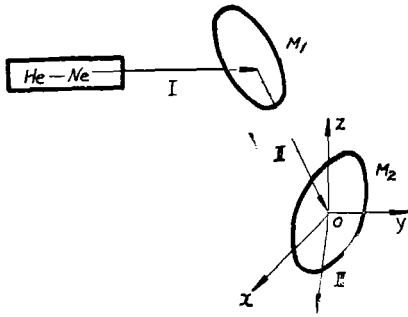


图1

设光线 I、II、III 的传播方向单位矢量分别为 \vec{K}_1 、 \vec{K}_2 、 \vec{K}_3 ；它们的光振动方向单位矢量分别为 \vec{E}_1 、 \vec{E}_2 、 \vec{E}_3 。

设想如下的调整方案：

第一步，调整 M_1 使 \vec{E}_1 垂直于 M_1 的入射平面，则由菲涅耳公式 \vec{E}_2 也必垂直于此平面，所以可令 $\vec{E}_1 = \vec{E}_2$ 。

第二步，调整 M_2 使 \vec{E}_2 在 M_2 的入射平面内，则 \vec{E}_3 也必在此平面内。

一、二两步调整并没有把 \vec{K}_2 、 \vec{K}_3 完全限定，因而可通过调整 \vec{K}_2 、 \vec{K}_3 （即调 M_1 、 M_2 ）来改变 \vec{E}_3 ，使 \vec{E}_3 既在 M_2 的入射面内又垂直于工作台面。这是否可能，也就是按此调整方案能否把偏振方向调整到所需要的方向上，需进一步论证。下面是简要分析计算：

由图1知

$$\vec{K}_1 = (0, 1, 0)$$

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_2 = (A, 0, B), \text{ 由光的横波性知 } E_{1y} = 0$$

$$\vec{K}_2 = (a, b, c)$$

$$\vec{K}_3 = (a', b', 0), \text{ 由 } \vec{K}_3 \parallel \text{OXY 知 } K_{3z} = 0$$

$$\vec{E}_3 = (0, 0, 1),$$

其中 a, b, c, a', b' 都是待定量。A、B是可测量。

按上述方案，以上各量必须满足如下关系式：

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_2 = \alpha \vec{K}_1 \times \vec{K}_2 \quad (1)$$

$$\vec{E}_2 \cdot (\vec{E}_3 \times \vec{K}_3) = 0 \quad (2)$$

$$\vec{K}_2 \cdot (\vec{K}_3 \times \vec{E}_3) = 0 \quad (3)$$

由 (2) 得：

$$\begin{vmatrix} A & 0 & B \\ 0 & 0 & 1 \\ a' & b' & 0 \end{vmatrix} = 0$$

$$\therefore Ab' = 0 \quad \because A \neq 0$$

$$\therefore b' = 0 \quad \because |\vec{K}_3| = 1$$

$$\therefore a' = 1$$

$$\therefore \vec{K}_3 = (1, 0, 0) \quad (4)$$

由 (3) 得：

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

$$\therefore b = 0 \quad (5)$$

由 (1) 得：

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_2 = \alpha \vec{K}_1 \times \vec{K}_2$$

$$\therefore (A, 0, B)$$

$$= \alpha \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 1 & 0 \\ a & 0 & c \end{vmatrix}$$

$$\therefore \begin{cases} A = \alpha c \\ B = -\alpha a \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{又 } |\vec{K}_i| = |\vec{E}_i| = 1 \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$\therefore A^2 + B^2 = \alpha^2 + c^2 = 1 \quad (7)$$

把 (6) 代入 (7) 得：

$$\alpha^2 = 1$$

$$\therefore \alpha = \pm 1$$

$$\therefore \vec{K}_2 = \pm (-B, 0, A) \quad (8)$$

由 (4)、(8) 知 \vec{K}_2 、 \vec{K}_3 （也即 M_1 、 M_2 的方位）这两个待调整量，在满足我们调整方案的条件下完全由 \vec{K}_1 、 \vec{E}_1 、 \vec{E}_3 这三个已知量来确定，至此，我们证明了通过调整 \vec{K}_2 、 \vec{K}_3 可使 \vec{E}_3 既在 M_2 的入射平面内又垂直于 OXY 面。也就是按此调整方案能

达到预期目的。

通过以上分析知：

$$\vec{K}_1 \cdot \vec{K}_2 = \vec{K}_2 \cdot \vec{E}_1 = \vec{K}_3 \cdot \vec{K}_1 = 0 \quad (9)$$

(9) 式是我们实验上实现这种调整的依据。

三、实验调整方法

(1) 测量激光器输出激光的偏振方向 \vec{E}_1 ，这只要用一个标好偏振方向的偏振片即可。

(2) 调整 M_1 使其出射光传播方向 \vec{K}_2 满足下式：

$$\vec{K}_2 = \pm \vec{E}_1 \times \vec{K}_1$$

正、负号由要求提高还是降低光高来决定。

(3) 调整 M_2 ，使其出射光传播方向 \vec{K}_3 满足下式：

$$\vec{K}_3 = (1, 0, 0)$$

(4) 测量最后由 M_2 出射的光的偏振方向 \vec{E}_3 和偏振态，并进行微调。

四、讨 论

1. 本文提出的调整方案，只能把最后的出射光Ⅲ调整到与最初激光器输出光Ⅰ垂直的方向上，如需任意方向的Ⅲ，只要引入第三面反射镜即可，但要注意不要改变光高（光线到平台的高度）。

2. 由菲涅耳公式知，这种调整方法保证 \vec{E}_2 和 \vec{E}_3 都是完全线偏振光，所以虽经调整改变了偏振方向，但仍保持原来接近于1的偏振度。

3. 此方法在完成调光高的同时完成了偏振方向的调整，所以在光路需调光高时尤其有用。

4. 更有趣的是：如把入射光Ⅰ的偏振方向在一个纸屏上画出，则经两平面镜或象后所示方向刚好是 M_2 出射光Ⅲ的偏振方向（当然 M_1 、 M_2 必先按此方案调整好）。

5. 激光器方向如与工作台面不平行，可先用机械方法调好。