

## 实验 6-7 光偏振现象的研究

1809 年, 法国工程师马吕斯在实验中发现了光的偏振现象。对于光的偏振现象研究, 使人们对光的传播(反射、折射、吸收和散射等)的规律有了新的认识。特别是近年来利用光的偏振性所开发出来的各种偏振光元件、偏振光仪器和偏振光技术在现代科学技术中发挥了极其重要的作用, 在光调制器、光开关、光学计量、应力分析、光信息处理、光通信、激光和光电子学器件等应用中, 都大量使用偏振技术。本实验要求学习产生和鉴别各种偏振光并对其进行观察、分析和研究, 从而了解和掌握偏振片、1/4 波片和 1/2 波片的作用及应用, 加深对光的偏振性质的认识。

### 实验原理

#### 1. 偏振光的种类

光是电磁波, 它的电矢量  $E$  和磁矢量  $H$  相互垂直, 且又垂直于光的传播方向。通常用电矢量代表光矢量, 并将光矢量和光的传播方向所构成的平面称为光的振动面。按光矢量的不同振动状态, 可以把光分为五种偏振态: 如光矢量沿着一个固定方向振动, 称为线偏振光或平面偏振光; 如在垂直于传播方向的平面内, 光矢量的方向是任意的, 且各个方向的振幅相等, 则称为自然光; 如果有的方向光矢量的振幅较大, 有的方向振幅较小, 则称为部分偏振光; 如果光矢量的大小和方向随时间作周斯性的变化, 且光矢量的末端在垂直于光传播方向的平面内的轨迹是圆或椭圆, 则分别称为圆偏振光或椭圆偏振光。

能使自然光变成偏振光的装置或器件, 称为起偏器; 用来检验偏振光的装置或器件, 称为检偏器。

#### 2. 线偏振光的产生

##### 1) 反射和折射产生偏振

根据布儒斯特定律, 当自然光以  $i_b = \arctan n$  的入射角从空气或真空入射至折射率为  $n$  的介质表面上时, 其反射光为完全的线偏振光, 振动面垂直于入射面; 而透射光为部分偏振光。  $i_b$  称为布儒斯特角。

如果自然光以  $i_b$  入射到一叠平行玻璃片堆上, 则经过多次反射和折射最后从玻璃片堆透射出来的光也接近于线偏振光。玻璃片的数目越多, 透射光的偏振度越高。

##### 2) 偏振片

它是利用某些有机化合物晶体的“二向色性”制成的。当自然光通过这种偏振片后, 光矢量垂直于偏振片透振方向的分量几乎完全被吸收, 光矢量平行于透振方向的分量几乎完全通过, 因此透射光基本上为线偏振光。

##### 3) 双折射产生偏振

当自然光入射到某些双折射晶体(如方解石、石英等)时, 经晶体的双折射所产生的寻常光(o光)和非常光(e光)都是线偏振光。

#### 3. 波晶片

波晶片简称波片, 它通常是一块光轴平行于表面的单轴晶片。一束平面偏振光垂直入射到波晶片后, 便分解为振动方向与光轴方向平行的 e 光和与光轴方向垂直的 o 光两部分(如图 1 所示)。这两种光在晶体内的传播方向虽然一致, 但它们在晶体内传播的速度却不相同(为什么?)。于是, e 光和 o 光通过波晶片后就产生固定的相位差  $\delta$ , 即

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)l$$

式中  $\lambda$  为入射光的波长,  $l$  为晶片的厚度,  $n_e$  和  $n_o$  分别为 e 和 o 光的主折射率。

对于某种单色光, 能产生相位差  $\delta = (2k+1)\frac{\pi}{2}$  的波晶片, 称为此单色光的 1/4 波片; 能产生  $\delta = (2k+1)\cdot\pi$  的晶片, 称为 1/2 波片; 能产生  $\delta = 2k\pi$  的波晶片, 称为全波片。通常波片用云母片剥离成适当厚度或用石英晶体研磨成薄片。由于石英晶体是正晶体, 其 o

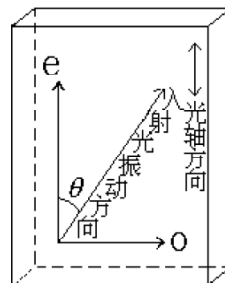


图 1 波晶片

光比 e 光的速度快，沿光轴方向振动的光（e 光）传播速度慢，故光轴称为慢轴，与之垂直的方向称为快轴。对于负晶体制成的波片，光轴就是快轴。

#### 4. 平面偏振光通过各种波片后偏振态的改变

由图 1 可知一束振动方向与光轴成  $\theta$  角的平面偏振光垂直入射到波片上后，会产生振动方向相互垂直的 e 和 o 光，其  $E$  矢量大小分别为  $E_e = E \cos \theta$ 、 $E_o = E \sin \theta$ ，通过波片后，二者产生一附加相位差。离开波片时合成波的偏振性质，决定于相位差  $\delta$  和  $\theta$ 。如果入射线偏振光的振动方向与波片的光轴的夹角为  $0$  和  $\pi/2$ ，则任何波片对它都不起作用，即从波片出射的光仍为原来的线偏振光。而如果  $\theta$  不为  $0$  或  $\pi/2$ ，线偏振光通过  $1/2$  波片后，出来的也仍为线偏振光，但它振动方向将旋转  $2\theta$ ，即出射光和入射光的电矢量对称于光轴。线偏振光通过  $1/4$  波片后，则可能产生线偏振光、圆偏振光和长轴与光轴垂直或平行的椭圆偏振光，这取决于入射线偏振光振动方向与光轴夹角  $\theta$ 。

#### 5. 偏振光的鉴别

鉴别入射光的偏振态须借助于检偏器和  $1/4$  波片。使入射光通过检偏器后，检测其透射光强并转动检偏器：若出现透射光强为零（称“消光”）的现象，则入射光必为线偏振光；若透射光的强度没有变化，则可能为自然光或圆偏振光（或两者的混合）；若转动检偏器，透射光强虽有变化但不出现消光现象，则入射光可能是椭圆偏振光或部分偏振光。要进一步作出鉴别，则须在入射光与检偏器之间插入一块  $1/4$  波片。若入射光是圆偏振光，则通过  $1/4$  波片后将转变成线偏振光（为什么？），转动检偏器时就会看到消光现象；否则，就是自然光。若入射光是椭圆偏振光，当  $1/4$  波片的慢轴（或快轴）与被检的椭圆偏振光的长轴或短轴平行时，透射光也为线偏振光（为什么？），于是转动检偏器也会出现消光现象；否则，就是部分偏振光。

### 实验装置与器材

带布儒斯特窗片的 He-Ne 激光器，带有刻度盘的可旋转的  $1/4$  波片二块，检偏器（由偏振片和硅光电池组成，也带有刻度盘，可旋转），检流计，电阻箱二只。

### 实验内容

#### 一、必做部分

本实验采用波长为  $632.8\text{nm}$  的 He-Ne 激光器作光源，它能输出足够强的单色光，在激光器谐振腔内放有布儒斯特窗片，从而使出射的激光束是线偏振光（它的振动方向如何？为什么只有一块窗片，并不是玻片堆，出射的激光是线偏振光，而不是部分偏振光？如果不放这块窗片，该激光的偏振情况如何？如果把该窗片放在谐振腔外，则其激光的偏振情况如何？）。将各偏振元件按图 2 放好，暂时不放波片 C，图中 A 为偏振片。先使 A 的透光轴与激光的电矢量垂直，于是产生消光现象，记下偏振片 A 消光时的位置读数  $A(0)$ 。然后将  $1/4$  波片 C 放在检偏器的前面，旋转 C，使再次出现消光现象（这时  $1/4$  波片的快轴与激光电矢量方向关系如何？），记下  $1/4$  波片消光时的位置读数  $C(0)$ 。

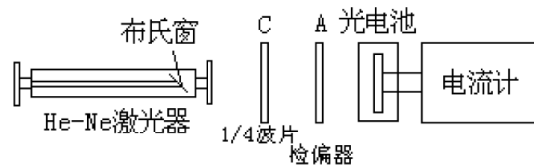


图 2 实验装置原理图

#### 1) $1/4$ 波片的作用

旋转  $1/4$  波片 C，以改变其慢（或快）轴与入射的线偏振光电矢量之间夹角  $\theta$ 。当  $\theta$  分别为  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$  时，将 A 逐渐旋转  $360^\circ$ ，观察光电流的变化情况，出现几次极大和几次极小值，将光电流的极大值和极小值记录在表 1 中，并由此说明  $1/4$  波片出射光的偏振情况。

表 1.  $1/4$  波片的作用

1/4 波片转过角度	A 逐渐旋转 $360^\circ$ 观察到的现象	光的偏振性质
$15^\circ$		
$30^\circ$		
$45^\circ$		
$60^\circ$		
$75^\circ$		
$90^\circ$		

## 2) 圆、椭圆偏振光的鉴别

单用一块偏振片无法区别圆偏振光和自然光，也无法区别椭圆偏振光和部分偏振光。请设计一个实验，要求用一块 1/4 波片产生圆偏振光或椭圆偏振光，再用另一块 1/4 波片将其变成线偏振光。（该线偏振光振动方向是否还和原来一致？）记录下你的实验过程和实验结果。通过这个实验想一想：是否可借助于 1/4 波片把圆偏振光和自然光区别开来，把椭圆偏振光和部分偏振光区别开来，为什么？（可进行选做实验 2）。

## 3) 1/2 波片的作用

- 如图 2 所示的装置中，在 C 和 A 之间再插入一个 1/4 波片 C'，使 C 和 C' 组成一个 1/2 波片（请考虑如何实现这一要求）。
- 先不放 C 和 C' 转 A 达到消光，然后在 He-Ne 激光器和 A 之间放上由 C 和 C' 组成的 1/2 波片，将此 1/2 波片转动 360°，能看到几次消光？请加以解释。
- 将 C 和 C' 组成 1/2 波片任意转动一角度，破坏消光现象。再将 A 转动 360°，又能看到几次消光？为什么？
- 改变由 C 和 C' 所组成的 1/2 波片的慢（或快）轴与激光的振动方向之间夹角  $\theta$  的数值，使其分别为 15°、30°、45°、60°、75°、90°。转 A 到消光位置，记录相应的角度  $\theta'$ 。解释上面实验结果，并因此了解 1/2 波片的作用。

表 2. 1/2 波片的作用

$\theta$	$\theta'$	线偏振光经 1/2 波片后振动方向转过的角度
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

## 二、选做部分

- 旋转偏振片，观察蓝天、玻璃窗的反射光，光亮的书封面或照片的表面，分析所观察到的现象。
- 设计一个实验，用 1/4 波片区别圆偏振光和自然光或椭圆偏振光与部分偏振光。
- 透明胶带纸在生产过程中因拉伸呈各向异性，故有双折射现象。它的光轴在其拉伸方向。将透明胶带纸以相同取向粘在玻璃板上，使其厚度分别为 1 至 8 层，如图 3 所示（粘贴时应注意各胶带纸的方向一致）。将该样品放在正交偏振片 P、A 之间，用白炽灯照射，转动该样品，在 A 后观察不同层胶带纸的透射光呈什么颜色？逐步转动 A，使 A 平行于 P，仔细观察在此过程中颜色变化的规律，与 A 垂直于 P 时透射光颜色有什么关系？请解释所看到的现象。
- 用透明的三角尺或其他有机玻璃制品取代上述样品，观察与分析白炽灯的透射光情况。
- 通过偏振片观察液晶显示器（如液晶显示的手表或计算器等），你看到什么现象？请解释旋转偏振片时看到的现象。
- 用检偏器检查不带布氏窗的普通 He-Ne 激光器输出光束的偏振状态，并解释之。
- 用“小型旋光仪”测量待测糖溶液浓度。



图 3 胶带纸样品

## 思考题

- 如何利用测布儒斯特角的原理，确定一块偏振片的透光轴位置？
- 什么叫波片的快轴和慢轴？与光轴有何关系？
- 在本实验中，是否要确切知道波片的快轴或慢轴？
- 实验时为什么必须使入射光与波片表面垂直？
- 怎样判断 1/4 波片的慢（或快）轴与 He-Ne 激光器输出的线偏振光振动方向平行或垂直？
- 怎样判断两块 1/4 波片的慢轴已相互平行而组成一个 1/2 波片？
- 自然光垂直照在一块 1/4 波片上，再用一块偏振片观察该波片的透射光，转动偏振片 360°，能

- 看到什么现象？固定偏振片转动波片  $360^\circ$ 。又看到什么现象？为什么？
8. 请指出用于偏振光实验的激光器在结构上有什么特点？