

芯飞睿技术参数十问 系列

偏振光

偏振光

一、什么是光的偏振

1、定义：

偏振 (polarization) 指光在多个方向上振动的能力。

2、解释：

光是一种电磁波，为横波，表现为电场（光的传播一般简单地视为电场的传播）振动方向与传播方向垂直。在垂直于传播方向的面上，电场处于随机振动状态，在各个方向都有振动，这种光被称为非偏振光 (unpolarized light)。非偏振光又被称为自然光包括太阳光、白炽灯、卤素灯等各种光源。而有一些光包含了一些固定方向振动的电场但又有自然光的参与，这种光被称为部分偏振光 (partially polarized light)。另外一些光（或其分量）完全按照固定的方向振动，那么这些光都被称为完全偏振光 (fully/completely polarized light)。我们一般所说的偏振光就为完全偏振光。其典型的光源包括部分激光光源（也有非偏振的例如光纤激光器）。

二、偏振分类有哪些

1、线偏振光 (linear polarization)

线偏振光的电场只沿传播方向 (z轴方向) 的单个平面上传播。其可分解为两个垂直分量，分别沿x-z平面和y-z平面，线偏振光的其中一个分量可以为0。两个垂直分量的相位差为0，其可合成为单个平面传播的波。

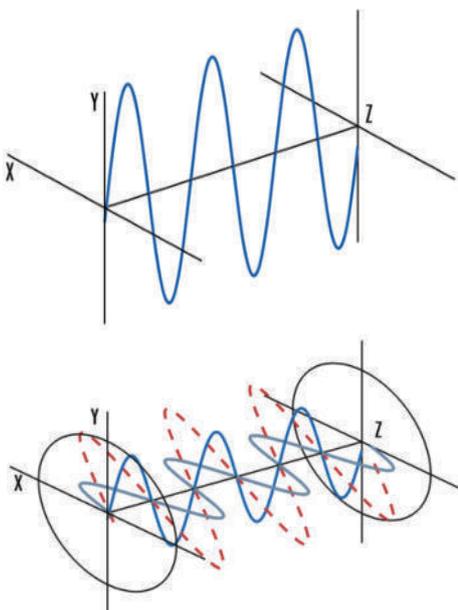


图1 线偏振光示意图

2、圆偏振光 (circular polarization)

圆偏振光的电场同样可以分解为两个垂直分量，分别沿x-z平面和y-z平面。它们振幅相等，相位差为 $\pi/2$ 。其电场围绕着传播轴旋转传播形似一个圆，根据旋转方向，分为左旋或右旋圆偏振光。

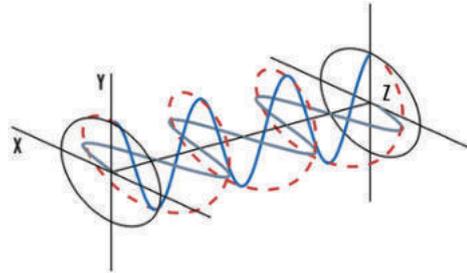


图2 圆偏振光示意图

3、椭圆偏振光 (elliptical polarization)

椭圆偏振光同圆偏振光类似，只不过其分量的振幅不相等或相位差不为0或 $\pi/2$ 。其合成的波形似椭圆，沿轴方向旋转传播。线偏振光和圆偏振光都可以看作椭圆偏振光的特殊情况。

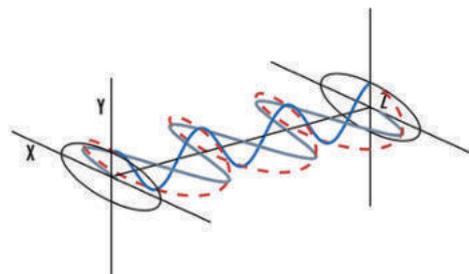


图3 椭圆偏振光示意图

三、偏振光有哪些重要术语

1、振幅 (amplitude)

对于沿轴传播的正/余弦波，其振幅表示波的最高点（波峰）或最低点（波谷）的绝对值。符号表示为A。

2、相位 (phase) /相位角(phase angle)

相位可以简单地理解为波形到达的位置与时间的关系，以角度或弧度表示。对于周期波，相位又可称为相位角。需要注意的是，相位没有绝对值，其大小都是参考定义的零相位来说的。故一般来说，单说相位是没有意义的，相位差则是我们需要关注的重点。

当两个波频率一致，零点及波峰波谷对应的时刻一致时，称两个波的相位相同。在数学表达式 $y=A\cos(\omega t+\phi)$ 中， $\omega t+\phi$ 被称为相位， ϕ 为初相位。

3、相位差 (phase difference)

对同一频率的波来说，相位差可以反映两列波同一周期内到达相同点的时间差。数值上等于两列波的初相位之差。

4、S/P光

S光和P光分别取自德语的senkrecht (垂直) 和parallel (平行)。S光和P光都为线偏振光。S光的振动方向垂直于入射平面，P光的振动方向平行于入射平面。

在偏振光学中，S光和P光的概念十分重要。一般情况下，反射和透射光中都存在有S光和P光，除了一个特殊情况，即入射光以布儒斯特角入射。在以布儒斯特角为中心的一定范围入射情况下，也有一定的S光被较多反射，P光被较多透射的情况。此特性通常被用来防眩光及各种需要分光的场合。

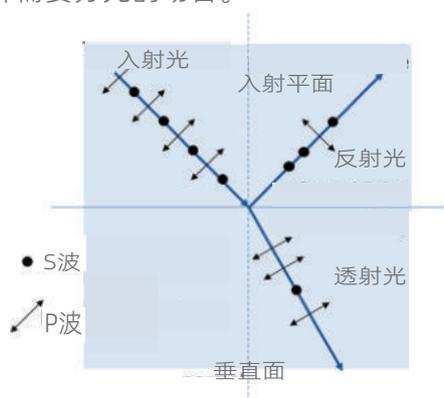


图4 S/P光示意图

5、布儒斯特角

(Brewster's angle / polarization angle)

布儒斯特角是一种入射角（图4中的 θ 即为布儒斯特角， $\theta = \arctan(n_2/n_1)$ ）。光线在布儒斯特角下入射，P光通过透明表面完美地透射，没有反射。同时，当非偏振光以布儒斯特角入射时，反射光是以S光完全偏振的。透射光和反射光呈直角。

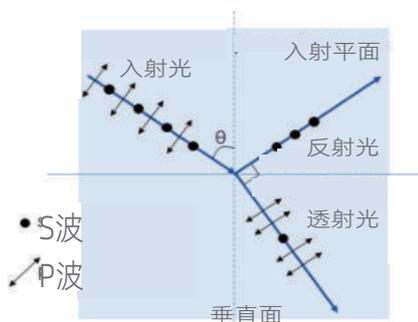


图5 布儒斯特角入射情况下的S/P光

6、偏振消光比 (polarization extinction ratio)

对消光比感兴趣的话，有一章专门讲晶体的消光比，薄膜与之类似，具体可以参考那一章的说明。

四、偏振为什么重要

在激光应用中，由于激光增益介质材料本身的影响（某些如各向异性，即材料性质随方向的变化而变化）、光腔的偏振损耗、双折射晶体的参与等会产生偏振现象。一些激光器如光纤激光器会产生非偏振光源。偏振光学元件就可以用来减少或滤除不需要的可能造成系统损坏的高功率偏振反射光。

除此之外，偏振光元件还应用于干涉测量、光放大、光调制、非线性频率转换、偏振耦合等场合。偏振光元件主要起到分光的作用。

五、什么是偏振光的反射光谱

偏振光的反射光谱与一般的反射光谱类似。只不过偏振光的反射光谱特别说明了不同波长下膜层对S光和P光的反射率曲线。

图6是某偏振光学镀膜产品的反射光谱图。其包含S光偏振分量、P光偏振分量的曲线。有些光谱图还会包含非偏振光分量的曲线。可以看出波长在532nm左右时膜层对S光高透，对P光透过率较低；在1064nm左右时膜层对P光高透，对S光透过率较低。由此可以看到该膜在532nm和1064nm处的偏振分光特性。

除此之外，反射光谱中还能读出相应波长下的消光比，以衡量元件的性能。

另需要注意一点，对于偏振来说，入射角是十分重要的。入射角的说明若未标注在图上，则后续参数一定需要注明。如图5的入射角都为45°。

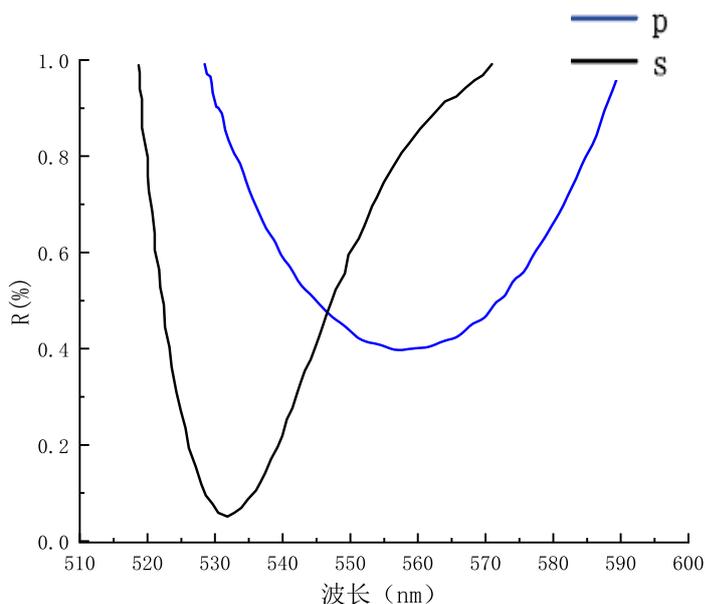


图6a 偏振光的反射光谱 $AR_s(45^\circ, 532\text{nm}) < 0.5\%$

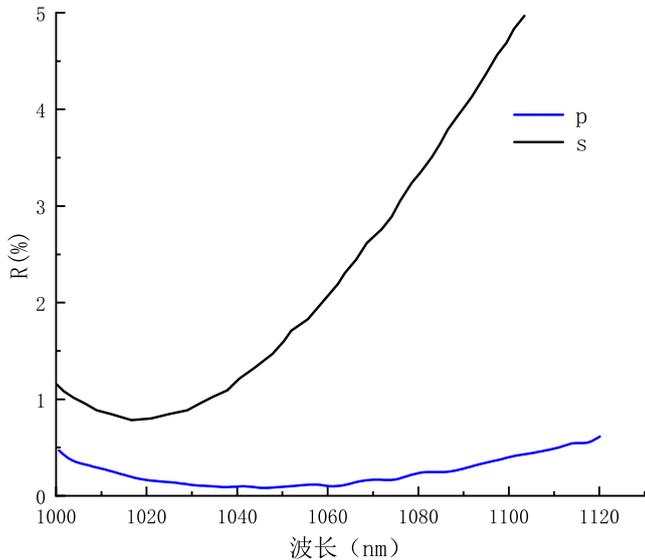


图6b 偏振光的反射光谱 ARp(45°,1064nm)<0.5%

六、偏振膜的反射光谱怎么测试

偏振膜的反射光谱测试与一般的反射光谱一样需要使用到光谱仪（分光光度计）。然而不同的是，测试系统中需要额外放置一片分析偏振片用以分离所需的偏振光。常用的分析偏振片包括Glan-Taylor或Glan-Thompson偏振片。因不同的偏振片作用的波长范围不同，测试需注意选择合适的偏振片。

除此之外，测试还包括分析偏振片的基线校准。S/P光测试时应注意两个光谱测量时，被测偏振片的位置不能移动。

七、什么是分光膜

分光膜是可以将一束光分为两束的光学膜。分光膜主要包括波长分光膜（区分不同颜色的光）、光强分光膜（区分不同强度的光）和偏振分光膜（区分不同偏振的光）等几类。

八、什么是偏振分光膜

偏振分光膜是具有对S光和P光有分光作用的透明薄膜。一般情况下，偏振分光膜有两种形式：布儒斯特角型偏振分光膜和多层干涉型偏振分光膜。布儒斯特角型偏振分光膜比较常用。其利用了光线在布儒斯特角入射时，P光被全部透射，反射光中仅含有S光的特性。一般应用中，为方便使用，限定入射角为45°（不是必须），要求做到近似布儒斯特角的反射透射特性。

九、有哪些偏振分光镜

偏振分光镜是能够区分S光和P光的一种光学元件。传统的偏振分光镜一般使用双折射晶体，但由于其难以做到大体积等原因，应用受到局限。现较多使用薄膜偏振片作为偏振分光镜使用。薄膜偏振片一般可以分为两种：

1、立方体偏振分光镜

立方体偏振分光镜由两个三角棱镜粘合而成，中间涂覆有偏振分光薄膜。通常，输入输出面还覆有减反膜。常见的MacNeille立方体基于布儒斯特角的原理而其余则依赖于干涉效应来抑制P光的反射。

立方体偏振分光镜的优点：

- 0°入射角入射易于集成
- 无光束偏移
- 反射和透射的光程相等
- 可以有效缩短系统的光路

立方体偏振分光镜的缺点：

- 其两个三角棱镜为重型实心玻璃结构
- 难以做到大尺寸
- 成本更高

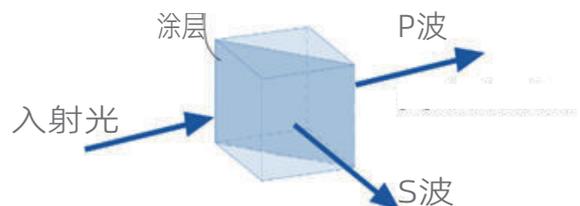


图7 立方体偏振分光镜示意图

2、平板偏振分光镜

平板偏振分光镜仅由镀膜玻璃板组成。这种设计通常要求必须以布儒斯特角入射以避免反射损耗。对于其他入射角，如45°，第二面需要镀减反膜以获得更高的分光效率。

平板偏振分光镜的优点：

- 更为轻薄
- 成本较低
- 制造方便
- 更容易获得大尺寸

平板偏振分光镜的缺点：

- 反射和透射光路的长度不同
- 透射光因平板的折射导致光束偏移
- 45°/布儒斯特角入射可能需要额外的校准时间

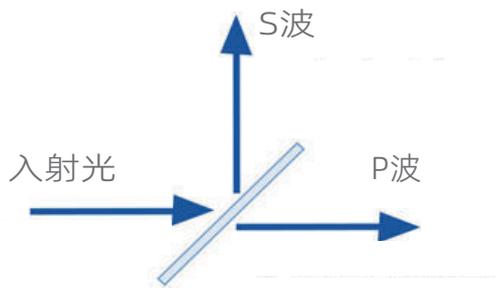


图8 平板偏振分光镜示意图

十、使用偏振分光镜需要注意什么

1、入射角

偏振和入射的角度有很大的关联。厂家对偏振分光镜的镀膜也会以设定的入射角为基准设计镀膜的种类、厚度等。若入射角与设定的入射角有所偏差时，必然会导致元件的性能下降。

2、波长范围

偏振分光镜和其它的光学元件一样，都不是全波长范围都适用的。每个元件的波长范围都需参考偏振元件的反射光谱图。一般来说偏振分光镜多为窄带应用，需格外关注光谱图中S光和P光的极值点。

3、反射率/透射率

反射率和透射率也是在选择或使用偏振分光镜需要注意的点。透射率一般也体现在反射光谱图中（但并不是说透射光谱是不需要的）。偏振膜的反射光谱中，S光和P光的透射率体现了膜对光的利用效率，是衡量元件好坏的重要指标。在平板和立方体偏振分光镜中还需注意其减反膜的透过率，高透过率可以减少反射光造成的鬼影现象以提高元件的性能。

4、消光比

消光比同样可以从光谱图中获得，消光比的定义详见晶体的消光比主题。高消光比意味着元件的分光性能更好。例如放置在高功率激光光路中的偏振分光镜，请尽量选择有高消光比的偏振分光元件以减少不需要的偏振光对系统造成损坏的可能性。

参考文献

- [1] Polarization. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polarization>, 2021
- [2] Introduction to Polarization. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/introduction-to-polarization/>, 2021
- [3] Amplitude. <https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude>, 2021
- [4] Phase (waves). [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_\(waves\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_(waves)), 2021
- [5] Brewster's angle. https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s_angle, 2021
- [6] Measuring S and P Polarization Spectra With A UV/Vis/NIR Spectrophotometer. <https://molecular-spectroscopy.blog/2020/02/18/measuring-s-and-p-polarization-spectra-with-a-uv-vis-nir-spectrophotometer/>, 2020
- [7] What are Beamsplitters. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/what-are-beamsplitters>, 2021
- [8] Rüdiger Paschotta. Thin-film Polarizers. https://www.rp-photonics.com/thin_film_polarizers.html, 2021
- [9] J. Larry Pezzaniti, Russell A. Chipman. Angular dependence of polarizing beam-splitter cubes. *Applied Optics*, 1994, 33: 1916-1929



有什么问题请联系我们的
技术工程师，在线为
您解答



了解更多资讯，请关
注我们的公众号--上海
芯飞睿科技有限公司

