



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114167602 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202111508298.3

(22) 申请日 2021.12.10

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130000 吉林省长春市东南湖大路 3888号

(72) 发明人 鞠学平 李作恩 颜昌翔 顾志远

(74) 专利代理机构 长春众邦菁华知识产权代理有限公司 22214

代理人 李青

(51) Int. Cl.

G02B 27/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

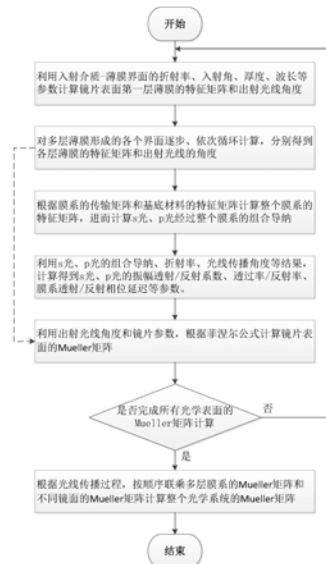
(54) 发明名称

一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法

(57) 摘要

一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法涉及光学系统分析领域,解决了现有技术中无法在设计阶段,对光学系统偏振特性进行计算和改进的问题。本发明的方法通过正向推导,沿着光线实际传播方向,依次建立整个光学系统不同镜面及其表面膜系的Mueller矩阵分析模型,利用本方法的研究成果,既可以利用Mueller矩阵联乘的方式得到整个光学系统的Mueller矩阵表征形式,分析其偏振特性;又可以通过分析每个镜面、膜系的Mueller矩阵,研究其单独的偏振影响,并进行针对性地改进设计,最终实现大视场、宽波段、低起偏特性的光学系统设计及优化。对偏振光谱遥感仪器的高精度设计、量化应用具有重要的理论意义和工程价值。

CN 114167602 A



1. 一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法,其特征在于,该分析方法包括如下步骤:

步骤一:利用入射介质-薄膜界面的折射率、入射角、厚度、波长计算镜头表面第一层膜的特征矩阵和出射光线角度,然后计算其余多层薄膜的特征矩阵和出射光线的角度,最后将膜系中所有的特征矩阵依次连乘得到整个膜系的传输矩阵;

步骤二:根据步骤一所述的整个膜系的传输矩阵和镜头材料的特征矩阵计算得到整个膜系的特征矩阵,通过所述整个膜系的特征矩阵计算得到整个膜系的组合导纳;

步骤三:利用s光和p光各自的入射介质导纳,入射介质的入射角,镜头的入射角即可计算得到s光和p光的振幅透射,进而求得s光和p光透过率和整个膜系透射相位延迟;

步骤四:利用步骤三所述的s光和p光的振幅透射,s光和p光透过率和整个膜系透射相位延迟,即可求得整个膜系的Mueller矩阵表征形式;通过所述步骤一中的出射光线角度和镜头参数,根据菲涅尔公式即可求得镜片表面的Mueller矩阵;建立镀膜后光学镜头的Mueller矩阵,用于分析镀膜后光学镜头的偏振特性。

2. 根据权利要求1所述的一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法,其特征在于,所述步骤一到步骤三,和所述步骤四中的利用步骤三所述的s光和p光的反射系数,s光和p光反射率和整个膜系反射相位延迟,即可求得整个膜系的Mueller矩阵表征形式可以求得经整个膜系后反射光的Mueller矩阵表征形式。

## 一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学系统分析领域,具体涉及一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法。

### 背景技术

[0002] 偏振探测具有穿云透雾、识别真伪、强光弱化、弱光强化等突出优势,偏振光谱联合遥感方式已成为研究热点,多维遥感数据逐渐在云与大气气溶胶探测、天文观测、地球环境监测等领域得到应用。

[0003] 光学镜头是遥感仪器能量收集的关键部件。一般的光学系统设计过程中主要针对像质进行优化,在镀膜过程中主要保证工作波段内的光学系统的透/反射率达到指标要求,对于镜头及其镀膜后的偏振效应分析较少。光学镜头本身的偏振效应会降低待测目标的偏振特性测量精度,进而影响目标的反演、分析准确性。

[0004] 目前针对光学系统的偏振效应标定,一是利用积分球、偏振片等器件,对整个光学系统的二向衰减和位相延迟参数进行拟合得到,进而计算光学系统的偏振特性;二是利用偏振定标方法,通过不同条件下的标定数据,计算整个光学系统的二向衰减和位相延迟参数。上述两种方法主要是针对已装配完成的镜头对其偏振特性进行计算,无法在设计阶段,对光学系统的改进提供理论指导。

### 发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的问题,本发明提供了一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法,解决了现有技术中无法在设计阶段,对光学系统偏振特性进行计算和改进的问题。

[0006] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0007] 一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法,该分析方法包括如下步骤:

[0008] 步骤一:利用入射介质-薄膜界面的折射率、入射角、厚度、波长计算镜头表面第一层膜的特征矩阵和出射光线角度,然后计算其余多层薄膜的特征矩阵和出射光线的角度,最后将膜系中所有的特征矩阵依次连乘得到整个膜系的传输矩阵;

[0009] 步骤二:根据步骤一所述的整个膜系的传输矩阵和镜头材料的特征矩阵计算得到整个膜系的特征矩阵,通过所述个膜系的特征矩阵计算得到整个膜系的组合导纳;

[0010] 步骤三:利用s光和p光各自的入射介质导纳,入射介质的入射角,镜头的入射角即可计算得到s光和p光的振幅透射/反射系数,进而求得s光和p光透过率/反射率和整个膜系透射/反射相位延迟;

[0011] 步骤四:利用步骤三所述的s光和p光的振幅透射/反射系数,s光和p光透过率/反射率和整个膜系透射/反射相位延迟,即可求得整个膜系的Mueller矩阵表征形式;通过所述步骤一中的出射光线角度和镜头参数,根据菲涅尔公式即可求得镜片表面的Mueller矩

阵;建立镀膜后光学镜头的Mueller矩阵,用于分析镀膜后光学镜头的偏振特性。

[0012] 优选的,所述步骤一到步骤四可以求得经整个膜系后反射光的Mueller矩阵表征形式。

[0013] 本发明的有益效果是:本发明的方法通过正向推导,沿着光线实际传播方向,依次建立整个光学系统不同镜面及其表面膜系的Mueller矩阵分析模型,利用本方法的研究成果,既可以利用Mueller矩阵联乘的方式得到整个光学系统的Mueller矩阵表征形式,分析其偏振特性;又可以通过分析每个镜面、膜系的Mueller矩阵,研究其单独的偏振影响,并进行针对性地改进设计,最终实现大视场、宽波段、低起偏特性的光学系统设计与优化。对偏振光谱遥感仪器的高精度设计、定量化应用具有重要的理论意义和工程价值。

## 附图说明

[0014] 图1本发明光线在多层膜系与镜头中传播过程示意图。

[0015] 图2本发明一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法流程图。

## 具体实施方式

[0016] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明。

[0017] 一种基于Mueller矩阵的镀膜后光学镜头偏振特性分析方法,该分析方法包括如下步骤:

[0018] 步骤一:如图1所示,利用入射介质-薄膜界面的折射率、入射角、厚度、波长参数计算镜片表面第一层薄膜的特征矩阵和出射光线角度,本实施例中,以空气-薄膜界面为例,其他介质同理:

$$[0019] \quad n_0 \cdot \sin(\theta_0) = n_1 \cdot \sin(\theta_1) \quad (1)$$

$$[0020] \quad J_1 = \begin{bmatrix} \cos(\delta_1) & i/\eta_1 \sin(\delta_1) \\ i\eta_1 \sin(\delta_1) & \cos(\delta_1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0021] 其中 $n_0$ 、 $n_1$ 分别是空气和第一层薄膜的折射率, $\theta_0$ 、 $\theta_1$ 分别是光线在空气介质-薄膜界面的入射角和折射角。 $J_1$ 是镜头表面第一层薄膜的特征矩阵,其中 $\delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d_1 \cos(\theta_1)$ 是第一层薄膜的有效相位, $d_1$ 是第一层薄膜的有效厚度, $\eta_1$ 是第一层薄膜的有效导纳,对于s光 $\eta_{1s} = n_1 \cos(\theta_1)$ ,对于p光 $\eta_{1p} = n_1 / \cos(\theta_1)$ 。

[0022] 然后对其余的多层薄膜形成的各个界面逐步、依次计算,分别得到各层薄膜的特征矩阵 $J_i$ 和入射光线的角度 $\theta_i$ ,其中 $i=1,2,\dots,N-1$ , $N$ 表示薄膜层数,最后将膜系中所有的特征矩阵依次连乘可得整个膜系的传输矩阵 $J_{Total}$ :

$$[0023] \quad J_{Total} = \prod_{i=1}^N J_i \quad (3)$$

[0024] 步骤二:根据步骤一所述的整个膜系的传输矩阵和镜头材料的特征矩阵计算得到整个膜系的特征矩阵,通过所述整个膜系的特征矩阵计算得到整个膜系的组合导纳;

[0025] 对于s光,整个膜系的特征矩阵计算如下:

$$[0026] \quad A_{Total,s} = \begin{bmatrix} B_s \\ C_s \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^N \begin{bmatrix} \cos(\delta_i) & i/\eta_{i,s} \sin(\delta_i) \\ i\eta_{i,s} \sin(\delta_i) & \cos(\delta_i) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{g,s} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[0027] \quad Y_s = \frac{C_s}{B_s} \quad (5)$$

[0028] 对于p光,整个膜系的特征矩阵计算如下:

$$[0029] \quad A_{Total,p} = \begin{bmatrix} B_p \\ C_p \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^N \begin{bmatrix} \cos(\delta_i) & i/\eta_{i,p} \sin(\delta_i) \\ i\eta_{i,p} \sin(\delta_i) & \cos(\delta_i) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{g,p} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[0030] \quad Y_p = \frac{C_p}{B_p} \quad (7)$$

[0031] 其中 $A_{Total}$ 表示整个膜系的特征矩阵, $\eta_g$ 表示镜头材料的有效导纳,对于s光入射的情况下, $\eta_{g,s} = \eta_g \cos(\theta_g)$ , $B_s$ 和 $C_s$ 表示s光入射时整个膜系的特征矩阵的元素;对于p光入射的情况下, $\eta_{g,p} = \eta_g / \cos(\theta_p)$ , $B_p$ 和 $C_p$ 表示p光入射时整个膜系的特征矩阵的元素; $\theta_g$ 为镜头的入射角。 $Y$ 是整个膜系的组合导纳。

[0032] 步骤三:利用s光和p光各自的入射介质导纳,入射介质的入射角,镜头的入射角即可计算得到s光和p光的振幅透射,进而求得s光和p光透过率和整个膜系透射相位延迟;

[0033] s光经过多层薄膜后的透射系数:

$$[0034] \quad t_s = \frac{2\eta_{0,s}}{\eta_{0,s}B_s + C_s} \quad (8)$$

[0035] p光经过多层薄膜后的透射系数:

$$[0036] \quad t_p = \frac{2\eta_{0,p}}{\eta_{0,p}B_p + C_p} \cdot \frac{\cos(\theta_0)}{\cos(\theta_g)} \quad (9)$$

[0037] 其中 $\eta_{0,s}$ 为入射光是S光时空气的有效导纳, $\eta_{0,p}$ 为入射光是P光时空气的有效导纳。

[0038] 膜系中s光的透射率:

$$[0039] \quad T_s = \frac{\eta_{g,s}}{\eta_{0,s}} t_s t_s^* \quad (10)$$

[0040] 其中, $\eta_{g,s}$ 为入射光是S光时镜头材料的有效导纳, $t_s^*$ 是 $t_s$ 的共轭复数。

[0041] 膜系中p光的透射率:

$$[0042] \quad T_p = \frac{\eta_{g,p}}{\eta_{0,p}} t_p t_p^* \quad (11)$$

[0043] 其中, $\eta_{g,p}$ 为入射光是P光时镜头材料的有效导纳, $t_p^*$ 是 $t_p$ 的共轭复数。

[0044] 膜系的透射相位延迟:

$$[0045] \quad \delta^t = \arctan \left( \frac{\text{imag}(t_p/t_s)}{\text{real}(t_p/t_s)} \right) \quad (12)$$

[0046] 步骤四:利用步骤三所述的s光和p光的振幅透射,s光和p光透过率和整个膜系透射相位延迟,即可求得整个膜系的Mueller矩阵表征形式;通过所述步骤一中的出射光线角度和镜头参数,根据菲涅尔公式即可求得镜片表面的Mueller矩阵;建立镀膜后光学镜头的Mueller矩阵,用于分析镀膜后光学镜头的偏振特性。

$$[0047] \quad M_{\text{coatings},t} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} T_s + T_p & T_s - T_p & 0 & 0 \\ T_s - T_p & T_s + T_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\sqrt{T_s T_p} \cos(\delta') & 2\sqrt{T_s T_p} \sin(\delta') \\ 0 & 0 & -2\sqrt{T_s T_p} \sin(\delta') & 2\sqrt{T_s T_p} \cos(\delta') \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0048] 其中 $M_{\text{coating},st}$ 为整个膜系的Mueller矩阵表征形式。

[0049] 利用步骤一中的出射光线角度,即图1中的 $\theta_g$ 和镜头参数,根据菲涅尔公式即可求得镜片表面的Mueller矩阵。

[0050] 首先利用菲涅尔公式计算s光和p光在镜头中的透射率(因镜片材料对光线的透过率较高,不考虑其吸收影响):

$$[0051] \quad T_{s,g} = \frac{\sin(2\theta_N) \sin(2\theta_g)}{\sin^2(\theta_N + \theta_g)} \quad (14)$$

$$[0052] \quad T_{p,g} = \frac{\sin(2\theta_N) \sin(2\theta_g)}{\sin^2(\theta_N + \theta_g) \cos(\theta_N - \theta_g)} \quad (15)$$

[0053] 然后利用公式(14)和(15)的结果,即可计算得到光学系统中镜头表面的Mueller矩阵:

$$[0054] \quad M_{\text{len},t} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} T_{s,g} + T_{p,g} & T_{s,g} - T_{p,g} & 0 & 0 \\ T_{s,g} - T_{p,g} & T_{s,g} + T_{p,g} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\sqrt{T_{s,g} T_{p,g}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\sqrt{T_{s,g} T_{p,g}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0055] 当光学系统中有反射界面时,其镜头表面的Mueller矩阵计算如下:

$$[0056] \quad M_{\text{len},r} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_s + R_p & R_s - R_p & 0 & 0 \\ R_s - R_p & R_s + R_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2\sqrt{R_s R_p} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2\sqrt{R_s R_p} \end{bmatrix} \quad (17)$$

[0057] 其中, $R_s, R_p$ 分别为镜片表面对s光、p光的反射率。

[0058] 参照步骤3、4的计算过程,分别计算多层膜系的Mueller矩阵和不同镜面的Mueller矩阵后,根据光线传播过程,按顺序联乘即可计算得到整个光学系统的Mueller矩阵:

$$[0059] \quad M_{\text{optics}} = \prod_{j=1}^W M^j \quad (18)$$

[0060] 其中,  $W$  是多层膜系和光学镜面的总个数, 如图1所示, 多层膜系和光学镜面的总个数  $W$  等于2, 对于不同的  $j$  表示进入光学系统的光线, 经过的不同光学表面顺序, 经过多层膜系时,  $M^j = M_{\text{coatings}}$ ; 经过镜片表面时,  $M^j = M_{\text{lens}}$ ; 本实施例中, 经过多层膜系时,  $M^1 = M_{\text{coatings}}$ ; 经过镜片表面时,  $M^2 = M_{\text{lens}}$ 。

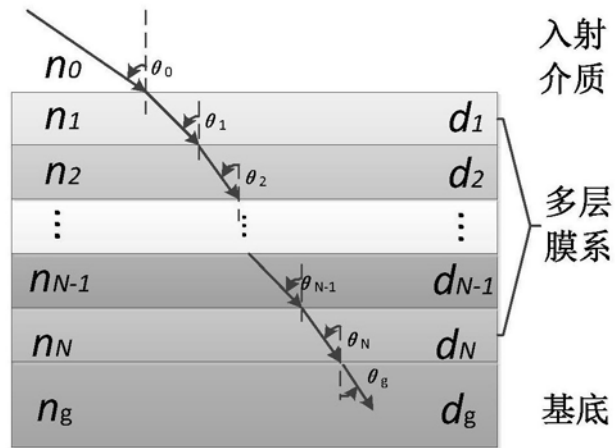


图1



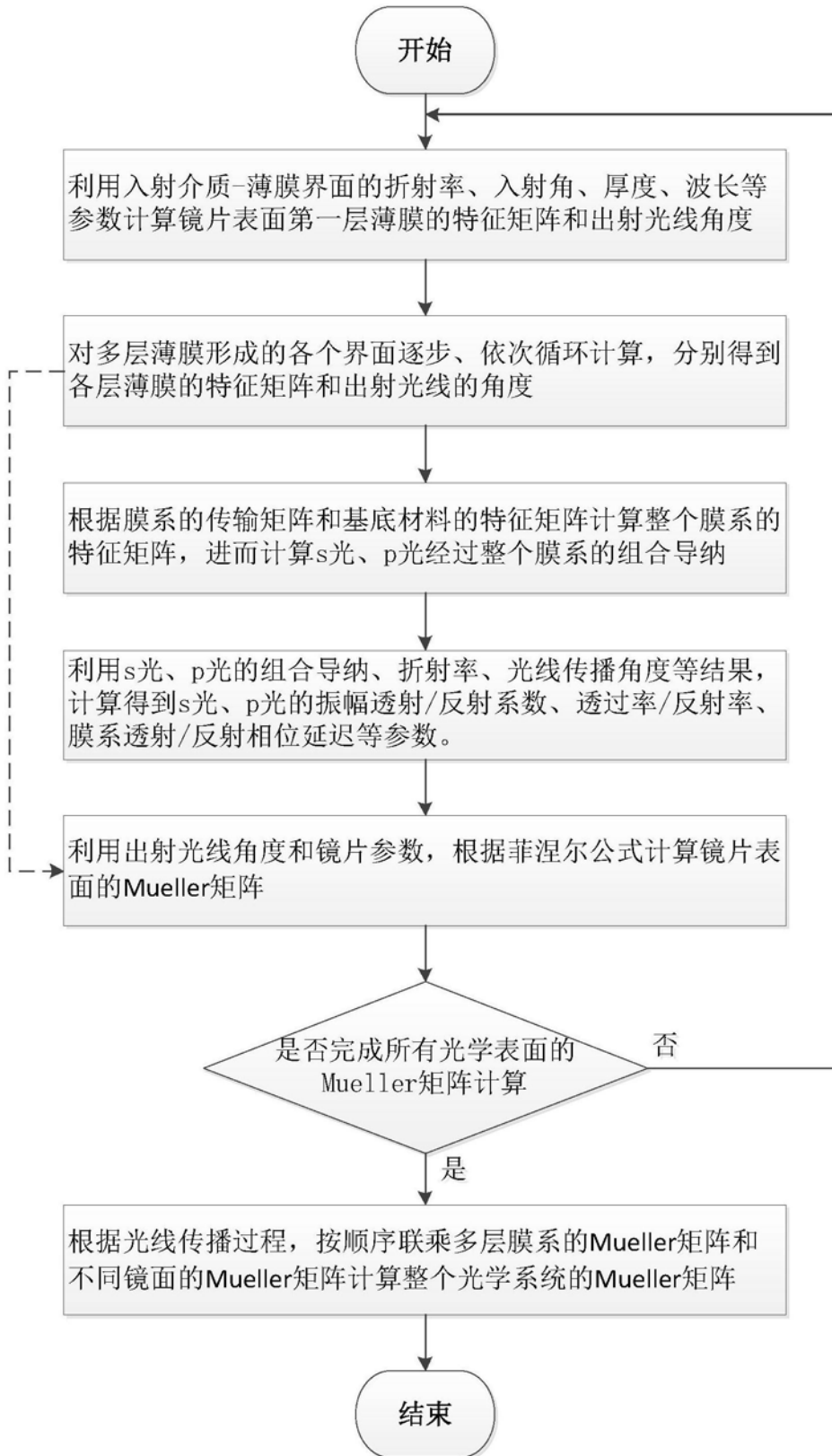


图2