



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108007574 B

(45)授权公告日 2019.07.23

(21)申请号 201711145297.0

(22)申请日 2017.11.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108007574 A

(43)申请公布日 2018.05.08

(73)专利权人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市雁塔区太白南路2号

(72)发明人 李祺伟 韩香娥 刘春波 卢芳

(74)专利代理机构 陕西电子工业专利中心
61205

代理人 王品华 朱红星

(51)Int.Cl.
G01J 4/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 103954360 B,2016.04.27,
CN 102944310 A,2013.02.27,
US 9256013 B2,2016.02.09,
US 10250823 B2,2019.04.02,
US 2015116720 A1,2015.04.30,
US 7218436 B2,2007.05.15,

审查员 张蒙恩

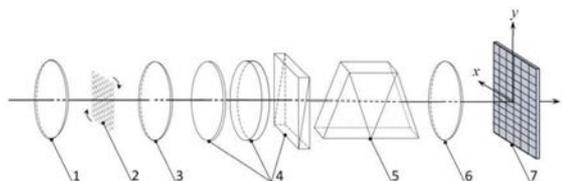
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置,主要解决现有技术受时间分辨率和探测方位角限制及光通量低的问题。其包括前置物镜组、微透镜阵列、准直镜组、偏振模块、色散模块、成像镜组和CCD探测器,这些部件沿主光轴方向依次摆放。入射光经前置物镜组成像于微透镜阵列处,图像采样后通过准直镜组变为平行光,通过偏振模块进行偏振光谱调制,出射光经过色散模块及成像镜组后,CCD探测器快照一帧获得目标偏振光谱调制图像,利用傅里叶变换及频域滤波方式,实现目标图像、光谱和线偏振信息的实时一体化获取。本发明能实现目标光谱及空间分辨率探测的多档调节,利于达到最佳探测状态且能量利用率高,可用于对目标的实时监测。



1. 一种分辨率可调型快照式成像光谱线偏振探测装置,包括前置物镜组(1)、微透镜阵列(2)、准直镜组(3)、偏振模块(4)、色散模块(5)、成像镜组(6)和CCD探测器(7),这些部件在xyz坐标系中沿入射光线的主光轴z方向依次摆放,其特征在于:

所述微透镜阵列(2),其位于前置物镜组(1)的像面上,且固定于单轴转盘上,以绕主光轴z自由旋转;

所述准直镜组(3),其物方焦平面与微透镜阵列(2)的像方焦平面重合,用于进行焦距调节和光束准直;

所述偏振模块(4),其包括消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片(41)、高阶相位延迟器(42)和偏振器(43);消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片(41)的快轴方向与x轴正向的夹角为 0° ,高阶相位延迟器(42)的快轴方向与x轴正向的夹角为 45° ,偏振器(43)的透振方向与x轴正向的夹角为 0° ;

所述成像镜组(6),其像方焦平面与CCD探测器(7)感光芯片位置重合。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于:所述微透镜阵列(2)由密集排列的高分子材料透镜单元印压于玻璃基底构成,每个子透镜单元采用六边形或矩形结构。

3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于:

所述消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片(41)采用石英晶体波片与氟化镁波片胶合而成;

所述高阶相位延迟器(42)采用高阶波片或液晶相位可变延迟器;

所述偏振器(43)采用二向色性薄膜偏振片或金属线栅偏振片或Glan-Taylor偏光棱镜。

4. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于:所述色散模块(5)采用直角色散棱镜或Amici色散棱镜或光栅。

5. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于:所述CCD探测器(7)固定于步进平移台或微米定位台上,沿主光轴z进行前后位移。

6. 一种分辨率可调型快照式成像光谱线偏振探测方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 调整准直镜组和成像镜组的焦距,控制微透镜阵列绕主光轴z旋转,以调节探测目标的光谱分辨率及空间分辨率,使系统达到最优探测状态;

2) 获得目标的二维图像信息和子图像调制偏振光谱:

目标发出的入射光经前置物镜组成像于微透镜阵列处,在微透镜阵列的后焦平面上形成各子透镜单元的光瞳像;光瞳像通过准直镜组后变为平行光后,通过偏振模块进行光谱调制,出射光经过色散模块及成像镜组后,将不同波长的光线聚到CCD探测器的不同位置;

CCD探测器快照一帧获得微透镜阵列采样的目标偏振光谱调制图像,获得目标的二维图像信息;

3) 对CCD探测器采集的单帧偏振光谱调制图像进行数据处理,即将各子图像单元按色散方向进行强度排列,得到波长采样下各子图像单元的调制偏振光谱,再对调制偏振光谱进行波数转化,得到转化后的波数采样光谱;

4) 对波数采样光谱进行傅里叶逆变换,得到调制光谱的通道化频谱;

5) 利用窗函数对通道化频谱进行滤波切趾,截取出各通道频谱,再进行傅里叶变换,获

得各子图像光谱和线偏振信息。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,步骤3)中对调制偏振光谱进行波数转化,是利用下式进行:

$$I(\sigma) = \sigma^2 \text{Interp}\{I(\lambda)\}$$

式中, $I(\lambda)$ 为波长采样调制偏振光谱, $I(\sigma)$ 为转化后波数采样调制偏振光谱, σ^2 为尺度变换因子,用于保证转换前后能量的一致性; $\text{Interp}\{\cdot\}$ 表示样条插值。

8. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,步骤4)中对波数采样光谱进行傅里叶逆变换,通过下式进行:

$$\begin{aligned} F(\delta) &= \mathfrak{F}^{-1}\{I(\sigma)\} = \frac{1}{2} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} [S_0(\sigma) + S_1(\sigma) \cos \varphi(\sigma) + S_2(\sigma) \sin \varphi(\sigma)] e^{i2\pi\sigma\delta} d\sigma \\ &= \frac{1}{2} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \left\{ S_0(\sigma) + \frac{S_1(\sigma) - iS_2(\sigma)}{2} e^{i\varphi(\sigma)} + \frac{S_1(\sigma) + iS_2(\sigma)}{2} e^{-i\varphi(\sigma)} \right\} e^{i2\pi\sigma\delta} d\sigma \\ &= C_0(\delta) + C_{-1}(\delta) + C_{+1}(\delta) \end{aligned}$$

式中, $F(\delta)$ 为傅里叶逆变换后获得的通道化频谱, $S_0(\sigma)$ 为光束总能量,即强度光谱, $S_1(\sigma)$ 为 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差, $S_2(\sigma)$ 为 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差; $\mathfrak{F}\{\cdot\}$ 表示傅里叶变换, $\varphi(\sigma)$ 为波数采样高阶相位延迟器的相位延迟量, $C_0(\delta)$ 是包含 $S_0(\sigma)$ 分量的通道化频谱, $C_1(\delta)$ 是包含 $S_1(\sigma)$ 和 $S_2(\sigma)$ 分量的正频通道化频谱, $C_{-1}(\delta)$ 是包含 $S_1(\sigma)$ 和 $S_2(\sigma)$ 分量的负频通道化频谱。

9. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,步骤5)的窗函数,是采用三角窗或海明窗或汉宁窗。

10. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,步骤5)中进行傅里叶变换,获得各子图像光谱和线偏振信息,是通过下式计算入射光Stokes参数的三个分量,即 $S_0(\sigma)$ 分量、 $S_1(\sigma)$ 分量和 $S_3(\sigma)$ 分量进行:

$$\begin{aligned} S_0(\sigma) &= 2 \cdot \mathfrak{F}\{C_0(\delta)\} \\ S_1(\sigma) &= 4 \cdot \text{real}\left(\mathfrak{F}\{C_1(\delta)\} \cdot e^{i\varphi(\sigma)}\right) \\ S_2(\sigma) &= 4 \cdot \text{imag}\left(\mathfrak{F}\{C_1(\delta)\} \cdot e^{i\varphi(\sigma)}\right) \end{aligned}$$

式中, $S_0(\sigma)$ 为光束总能量,即强度光谱, $S_1(\sigma)$ 为 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差, $S_2(\sigma)$ 为 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差; $\varphi(\sigma)$ 为波数采样高阶相位延迟器的相位延迟量, $C_0(\delta)$ 是包含 $S_0(\sigma)$ 分量的通道化频谱, $C_1(\delta)$ 是包含 $S_1(\sigma)$ 和 $S_2(\sigma)$ 分量的通道化频谱; $\mathfrak{F}\{\cdot\}$ 表示傅里叶变换, $\text{real}(\cdot)$ 为取复数实部, $\text{imag}(\cdot)$ 为取复数虚部。

分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于成像光探测技术领域,特别涉及一种图像光谱线偏振探测技术,可用于目标图像、光谱、线偏振信息的实时一体化获取。

背景技术

[0002] 光是一种电磁波,强度信息、光谱信息和偏振信息都是光的基本特性。任何目标在反射和辐射电磁波的过程中都会表现出他们自身的特性。随着光学技术的快速发展,应运而生的是各种类型的光学信息获取技术,如成像技术用于描述目标的形貌特征,光谱技术刻画了物质与不同波长光的作用情况,偏振技术描述物质的散射与反射特性。成像光谱偏振技术ISP作为一种新型的光学探测方法,可以同时获取目标的二维空间信息、空间各点的光谱信息,以及每个光谱段的偏振信息,将目标信息获取拓展到了四维,为目标识别与探测提供了更加全面、精确、科学的手段,其在军事侦查、大气探测、航天遥感、地球资源普查、自然灾害预报、医学诊断、农业和海洋遥感等诸多领域都将具有重要的应用价值和前景。同时,由于自然界中存在的圆偏振分量很少,获取目标全部的线偏振信息即可满足大多数的应用。

[0003] 成像光谱偏振技术作为一种前沿的遥感探测技术,以其丰富的功能和独特的探测优势引起了国内外广泛关注。国际开展ISP研究的机构主要集中在美国、日本、欧盟等的军方、科研机构 and 高校,研究重点主要包括原理探索、实验验证和应用评估等。然而由于该技术涉及面广,专业性强,因此其技术手段尚未成熟。按照二维空间目标的图像、光谱和偏振信息的获取方式,ISP可以划分为推扫式和快照式两大类。目前,绝大多数的ISP依然采用推扫式,按照其构成核心元件可以分为:基于声光可调谐滤光片AOTF、液晶可调谐滤光片LCTF以及近年来发展起来的基于通道偏振光谱技术CSP的ISP。

[0004] AOTF与LCTF功能相似,具有工作波段内电调谐任意透过波长的能力,同时还具有线偏振器的特点。以这两类器件为核心的ISP通常采用凝视的方式获取面阵的二维空间数据,通过时序推扫的方式获取光谱信息,而偏振信息获取通常需要4次连续独立的测量,因此其时间分辨率受限,对于光谱及偏振信息快速变化的目标测量效果欠佳,并且由于其谱段调谐限制了系统的光通量,大气及周围环境的不稳定会造成其获取数据信噪比受限,影响信息获取精度。

[0005] 1999年日本学者Kazuhiko Oka等提出的通道偏振光谱技术可以通过单次测量获取探测目标的全偏振态信息,具有实时探测能力。其偏振调制模块独立且构成简单,可以直接和传统成像光谱仪组合实现多维光信息获取。该技术一经提出即得到国内外学者的广泛关注,先后提出了通道型狭缝色散ISP,通道型干涉式ISP,通道型光纤ISP等多种类的推扫式ISP,其通过一维线阵推扫或二维面阵窗扫实现目标四维超数据立方体的构建。然而,由于外场遥感探测中二维空间目标的偏振光谱分布具有时间和角度效应,一维线阵推扫数据获取的本质是将不同时刻获取的一维空间偏振光谱信息进行拼接处理,一方面其时间分辨率受限,另一方面每个一维偏振光谱单元经历的环境因素也不尽相同,这对其二维目标场

景多维光信息的反演产生了诸多限制。二维面阵窗扫描获取原始数据的信噪比相比一维线阵推扫光通量得到大幅提升,然而由于其一个扫描周期内获取的序列图像中同名地元的完整灰度值分布于各帧图像的不同位置,即对应的探测方位角和获取时间都不尽相同,会导致复原偏振光谱的非一致性问题,并且由于其产生原因并非单一仪器调制本身所造成,因此通过后期仪器定标校准依然无法完全消除。

[0006] 综上所述,传统的推扫式ISP尽管具有较高的空间和光谱分辨率,仪器设计和数据处理技术也趋于成熟,但由于其数据获取受到时间分辨率及空间方位角的限制,因此实用价值有限。相较之下,快照式ISP通过单次曝光即可获取目标地元在特定时间和特定探测方位角的偏振光谱信息,避免了时序扫描或空间推扫带来的诸多不确定因素,为实现目标图像、光谱及偏振信息的实时、一体化高精度获取提供了全新的技术手段。目前国际上研究的快照式ISP主要为基于计算层析的快照式ISP,其通过高维数据的低维投影实现目标空间及频域信息的获取,但由于存在投影数据采样低导致系统分辨率受限的缺点,并且后续偏振光谱复原算法复杂、耗时,难以投入商业化生产。基于孔径分割或偏振焦平面阵列分割的快照式ISP由于系统光通量较低,导致获取数据信噪比十分受限,限制了其应用范围。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对上述推扫式成像光谱偏振技术的缺点,提供一种分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置及方法,以克服时序扫描或空间推扫带来的诸多不确定因素,提高系统光通量,扩大应用范围。

[0008] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0009] 1.一种分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置,包括:前置物镜组、微透镜阵列、准直镜组、偏振模块、色散模块、成像镜组和CCD探测器,这些部件在xyz坐标系中沿入射光线的主光轴z方向依次摆放,其特征在于:

[0010] 所述微透镜阵列,其位于前置物镜组的像面上,且固定于单轴转盘上,以绕主光轴z自由旋转;

[0011] 所述准直镜组,其物方焦平面与微透镜阵列的像方焦平面重合,用于进行焦距调节和光束准直;

[0012] 所述偏振模块,其包括消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片、高阶相位延迟器和偏振器;消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片的快轴方向与x轴正向的夹角为 0° ,高阶相位延迟器的快轴方向与x轴正向的夹角为 45° ,偏振器的透振方向与x轴正向的夹角为 0° ;

[0013] 所述成像镜组,其像方焦平面与CCD探测器感光芯片位置重合。

[0014] 2.一种分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0015] 1)调整准直镜组和成像镜组的焦距,控制微透镜阵列绕主光轴z旋转,以调节探测目标的光谱分辨率及空间分辨率,使系统达到最优探测状态;

[0016] 2)获得目标的二维图像信息:

[0017] 目标发出的入射光经前置物镜组成像于微透镜阵列处,在微透镜阵列的后焦平面上形成各子透镜单元的光瞳像;光瞳像通过准直镜组后变为平行光后,通过偏振模块进行

光谱调制,出射光经过色散模块及成像镜组后,将不同波长的光线聚到CCD探测器的不同位置;

[0018] CCD探测器快照一帧获得微透镜阵列采样的目标偏振光谱调制图像,获得目标的二维图像信息。

[0019] 3)对CCD探测器采集的单帧偏振光谱调制图像进行数据处理,即将各子图像单元按色散方向进行强度排列,得到波长采样下各子图像单元的调制偏振光谱,再对调制偏振光谱进行波数转化,得到转化后的波数采样光谱;

[0020] 4)对波数采样光谱进行傅里叶逆变换,得到调制光谱的通道化频谱;

[0021] 5)利用窗函数对通道化频谱进行滤波切趾,截取出各通道频谱,再进行傅里叶变换,获得各子图像光谱和线偏振信息。

[0022] 本发明与现有技术相比具有如下优点:

[0023] 1.本发明由于采用消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片、高阶相位延迟器和偏振器组成偏振模块,使出射光的强度光谱中包含入射光线偏振分量,能够实现目标图像、光谱和线偏振信息的实时一体化获取;

[0024] 2.本发明通过CCD探测器单次曝光获取数据,无需对目标进行推扫,避免了入射狭缝或孔径分割造成的能量损失,保证了仪器具有较高的光通量和数据信噪比;

[0025] 3.本发明采用快照式原理获取数据,目标地元的探测方位角固定,时间分辨率高,有效避免了因环境变化或目标自身偏振光谱信息变化带来的反演误差;

[0026] 4.本发明由于采用变焦准直镜组和变焦成像镜组,配合微透镜阵列的旋转,可以实现目标光谱和空间分辨率探测的多档调节,利于系统达到最佳探测状态;

[0027] 5.本发明通过单帧色散图像获取目标图像、光谱、线偏振信息,无需进行多帧图像的配准,数据处理流程简洁,可以实现目标的实时监测。

附图说明

[0028] 图1为本发明装置的整体结构示意图;

[0029] 图2为本发明装置中的消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片的结构示意图;

[0030] 图3为本发明装置中的高阶相位延迟器的结构示意图;

[0031] 图4为本发明装置中偏振器的结构示意图;

[0032] 图5为本发明探测方法的实现流程图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0034] 本发明是在xyz空间坐标系下设置,其中入射光的主光轴为z轴,xyz坐标系满足右手定则。

[0035] 参见图1,本发明提出的分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测装置,包括:前置物镜组1、微透镜阵列2、准直镜组3、偏振模块4、色散模块5、成像镜组6、CCD探测器7;其中

偏振模块包括：消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片41、高阶相位延迟器42和偏振器43三部分；这些部件在xyz坐标系中沿主光轴z方向依次摆放。其中所述微透镜阵列2由密集排列的高分子聚合子透镜单元印压于玻璃基底构成，每个子透镜单元采用六边形或矩形结构，且固定于单轴转盘上，可以绕主光轴z自由旋转；所述色散模块5采用直角色散棱镜或Amici色散棱镜或光栅；所述CCD探测器7固定于步进平移台或微米定位台上，可以沿主光轴z进行前后位移。

[0036] 目标发出的入射光经前置物镜组1成像于微透镜阵列2处，在微透镜阵列2的后焦平面上形成各子透镜单元的光瞳像，其效果相当于对目标图像采样，光瞳像通过准直镜组3变为平行光后，依次通过由消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片41、高阶相位延迟器42和偏振器43组成的偏振模块进行偏振光谱调制，出射光经过色散模块5及成像镜组6后，不同波长的光线汇聚在CCD探测器7感光芯片的不同位置，CCD探测器7感光芯片位于成像镜组6的像方焦平面上，CCD探测器7快照一帧获得经微透镜阵列2采样的目标偏振光谱调制图像，通过调整准直镜组3和成像镜组6焦距，配合微透镜阵列2的旋转，可以调节探测目标的光谱分辨率及空间分辨率，达到系统最优探测状态。

[0037] 参见图2，所述消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片41采用石英晶体波片与氟化镁波片胶合而成，其快轴方向与x轴正向的夹角为 0° ；

[0038] 参见图3，所述高阶相位延迟器42采用高阶波片或液晶相位可变延迟器，其快轴方向与x轴正向的夹角为 45° ；

[0039] 参见图4，所述偏振器43采用二向色性薄膜偏振片或金属线栅偏振片或Glan-Taylor偏光棱镜，其透振方向与x轴正向的夹角为 0° ；

[0040] 参见图5，基于以上装置，本发明所述的分辨率可调型快照式图像光谱线偏振探测方法，包括以下步骤：

[0041] 步骤1，调整准直镜组和成像镜组的焦距，控制微透镜阵列绕主光轴z旋转，以调节探测目标的光谱分辨率及空间分辨率，使系统达到最优探测状态。

[0042] 步骤2，获得目标的二维图像信息和子图像调制偏振光谱。

[0043] 2.1) 根据偏振光学原理，将空间点(x,y)发出光束的Stokes矢量 $S(x,y,\lambda)$ 表示为：

$$[0044] \quad \mathbf{S}(x,y,\lambda) = \begin{bmatrix} S_0(x,y,\lambda) \\ S_1(x,y,\lambda) \\ S_2(x,y,\lambda) \\ S_3(x,y,\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{0^\circ}(x,y,\lambda) + I_{90^\circ}(x,y,\lambda) \\ I_{0^\circ}(x,y,\lambda) - I_{90^\circ}(x,y,\lambda) \\ I_{45^\circ}(x,y,\lambda) - I_{135^\circ}(x,y,\lambda) \\ I_R(x,y,\lambda) - I_L(x,y,\lambda) \end{bmatrix} \quad \langle 1 \rangle$$

[0045] 其中 S_0 为光束总能量， S_1 为 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差， S_2 为 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差， S_3 为右旋圆偏振光与左旋圆偏振光强度之差，(x,y)为目标的空间坐标， λ 为探测目标波长；

[0046] 2.2) 将由快轴方向与x轴正向的夹角为 0° 的消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片、快轴方向与x轴正向的夹角为 45° 的高阶相位延迟器和透振方向与x轴正向的夹角为 0° 的偏振器所组成偏振模块的穆勒Mueller矩阵 $M_{All}(\lambda)$ 表示为：

$$[0047] \quad \mathbf{M}_{All}(\lambda) = \mathbf{M}_P(\lambda) \cdot \mathbf{M}_R(\lambda) \cdot \mathbf{M}_{\lambda/4}(\lambda) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos \varphi(\lambda) & \sin \varphi(\lambda) & 0 \\ 1 & \cos \varphi(\lambda) & \sin \varphi(\lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \langle 2 \rangle$$

[0048] 其中, $\mathbf{M}_P(\lambda)$ 为偏振器的Mueller矩阵, $\mathbf{M}_R(\lambda)$ 为高阶相位延迟器的Mueller矩阵, $\mathbf{M}_{\lambda/4}(\lambda)$ 为消色差 $\frac{\lambda}{4}$ 波片的Mueller矩阵, $\varphi(\lambda)$ 为高阶相位延迟器的延迟量;

[0049] 2.3) 将目标发出的入射光经前置物镜组成像于微透镜阵列处, 在微透镜阵列的后焦平面上形成各子透镜单元的光瞳像; 光瞳像通过准直镜组后变为平行光后, 平行光通过偏振模块进行偏振光谱调制后出射光的偏振态由Stokes矢量表示为:

$$[0050] \quad \begin{bmatrix} S'_0 \\ S'_1 \\ S'_2 \\ S'_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos \varphi(\lambda) & \sin \varphi(\lambda) & 0 \\ 1 & \cos \varphi(\lambda) & \sin \varphi(\lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_0 + S_1 \cos \varphi(\lambda) + S_2 \sin \varphi(\lambda) \\ S_0 + S_1 \cos \varphi(\lambda) + S_2 \sin \varphi(\lambda) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \langle 3 \rangle$$

[0051] 其中, S'_0 为出射光束总能量, S'_1 为出射光 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差, S'_2 为出射光 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差, S'_3 为出射光右旋圆

偏振光与左旋圆偏振光强度之差, $\begin{bmatrix} S'_0 \\ S'_1 \\ S'_2 \\ S'_3 \end{bmatrix}$ 为偏振光谱调制后光Stokes矢量, 由于CCD探测器只

对总光强有响应, 而对光线的偏振态不敏感, 因此出射光总光强 $I(\lambda)$ 为:

$$[0052] \quad I(\lambda) = \frac{1}{2} [S_0(\lambda) + S_1(\lambda) \cos \varphi(\lambda) + S_2(\lambda) \sin \varphi(\lambda)] \quad \langle 4 \rangle$$

[0053] 出射光经过色散模块分光后, 经过成像镜组将不同波长的光线汇聚到达在CCD探测器的不同位置, CCD探测器快照一帧获得微透镜阵列采样的偏振光谱调制图像, 即目标二维图像信息和子图像调制偏振光谱。

[0054] 步骤3: 获得子图像波数采样的调制偏振光谱。

[0055] 3.1) 将上述单帧偏振光谱调制图像的子图像单元按色散方向进行强度排列, 得到波长采样下子图像单元的调制偏振光谱;

[0056] 3.2) 利用下式对波长采样调制偏振光谱进行波数采样的转化, 得到波数采样调制偏振光谱 $I(\sigma)$:

$$[0057] \quad I(\sigma) = \sigma^2 \text{Interp}\{I(\lambda)\} \quad \langle 5 \rangle$$

[0058] 式中, σ^2 为尺度变换因子, 用于保证转换前后能量一致性; $\text{Interp}\{\cdot\}$ 表示样条插值。

[0059] 步骤4: 根据调制偏振光谱 $I(\sigma)$ 获得调制偏振光谱的通道化频谱。

[0060] 根据傅里叶变换光谱学, 对波数采样的调制偏振光谱进行傅里叶逆变换, 得到通道化频谱 $F(\delta)$:

$$\begin{aligned}
 F(\delta) &= \mathfrak{F}^{-1}\{I(\sigma)\} = \frac{1}{2} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} [S_0(\sigma) + S_1(\sigma) \cos \varphi(\sigma) + S_2(\sigma) \sin \varphi(\sigma)] e^{i2\pi\sigma\delta} d\sigma \\
 [0061] \quad &= \frac{1}{2} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \left\{ S_0(\sigma) + \frac{S_1(\sigma) - iS_2(\sigma)}{2} e^{i\varphi(\sigma)} + \frac{S_1(\sigma) + iS_2(\sigma)}{2} e^{-i\varphi(\sigma)} \right\} e^{i2\pi\sigma\delta} d\sigma \quad \langle 6 \rangle \\
 &= C_0(\delta) + C_{-1}(\delta) + C_1(\delta)
 \end{aligned}$$

[0062] 式中, $\mathfrak{F}^{-1}\{\cdot\}$ 表示傅里叶逆变换, $S_0(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光束总能量, $S_1(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差, $S_2(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光波数采样的调制偏振光谱 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差, $\varphi(\sigma)$ 为波数采样高阶相位延迟器的延迟量, $C_0(\delta)$ 是包含 $S_0(\sigma)$ 分量的通道化频谱, $C_1(\delta)$ 是包含 $S_1(\sigma)$ 和 $S_2(\sigma)$ 分量的正频通道化频谱, $C_{-1}(\delta)$ 是包含 $S_1(\sigma)$ 和 $S_2(\sigma)$ 分量的负频通道化频谱, 它们在光程差域 $F(\delta)$ 彼此分开。

[0063] 步骤5: 对通道化频谱进行滤波切趾和傅里叶变换, 获取目标光谱和线偏振信息。

[0064] 5.1) 利用滤波切趾函数对通道化频谱进行滤波切趾, 分别截取出强度通道频谱 $C_0(\delta)$ 、正频线偏振通道频谱 $C_1(\delta)$ 和负频线偏振通道频谱 $C_{-1}(\delta)$, 滤波切趾函数采用选取三角窗函数或海明窗函数或汉宁窗函数, 本实例采用但不限于三角窗函数;

[0065] 5.2) 选取截取出的强度通道频谱 $C_0(\delta)$, 以及正频线偏振通道频谱 $C_1(\delta)$ 和负频线偏振通道频谱 $C_{-1}(\delta)$ 中的任一通道频谱, 本实例中选取强度通道频谱 $C_0(\delta)$ 和正频线偏振通道频谱 $C_1(\delta)$, 利用下式进行傅里叶变换, 获得目标入射光的光谱信息和线偏振信息:

$$[0066] \quad S_0(\sigma) = 2 \cdot \mathfrak{F}\{C_0(\delta)\} \quad \langle 7 \rangle$$

$$[0067] \quad S_1(\sigma) = 4 \cdot \text{real}\left(\mathfrak{F}\{C_1(\delta)\} \cdot e^{i\varphi(\sigma)}\right) \quad \langle 8 \rangle$$

$$[0068] \quad S_2(\sigma) = 4 \cdot \text{imag}\left(\mathfrak{F}\{C_1(\delta)\} \cdot e^{i\varphi(\sigma)}\right) \quad \langle 9 \rangle$$

[0069] 式中, $S_0(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光束总能量, 即强度光谱; $S_1(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光 0° 方向线偏振光与 90° 方向线偏振光强度之差; $S_2(\sigma)$ 为 $I(\sigma)$ 中包含的目标入射光波数采样的调制偏振光谱 45° 方向线偏振光与 135° 方向线偏振光强度之差; $\mathfrak{F}\{\cdot\}$ 表示傅里叶变换, $\text{real}(\cdot)$ 为取复数实部, $\text{imag}(\cdot)$ 为取复数虚部。

[0070] 以上描述仅是本发明的一个具体实例, 并未构成对本发明的任何限制, 显然对于本领域的专业人员来说, 在了解了本发明内容和原理后, 都可能在不背离本发明原理、结构的情况下, 进行形式和细节上的各种修改和改变, 但是这些基于本发明思想的修正和改变仍在本发明的权利要求保护范围内。

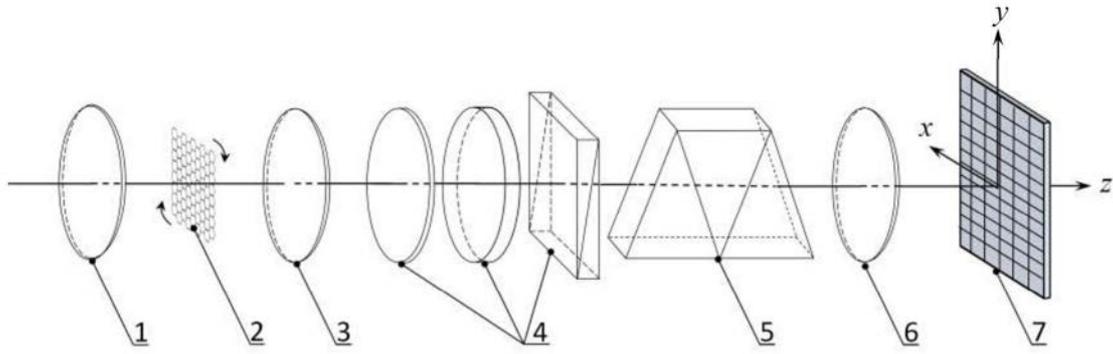


图1

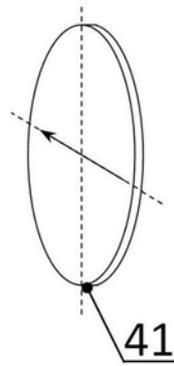


图2

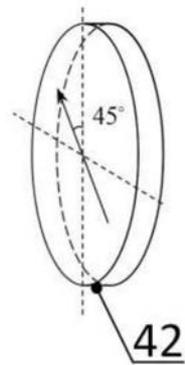


图3

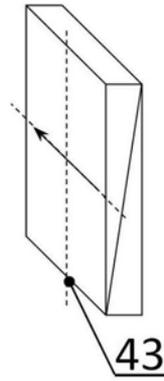


图4

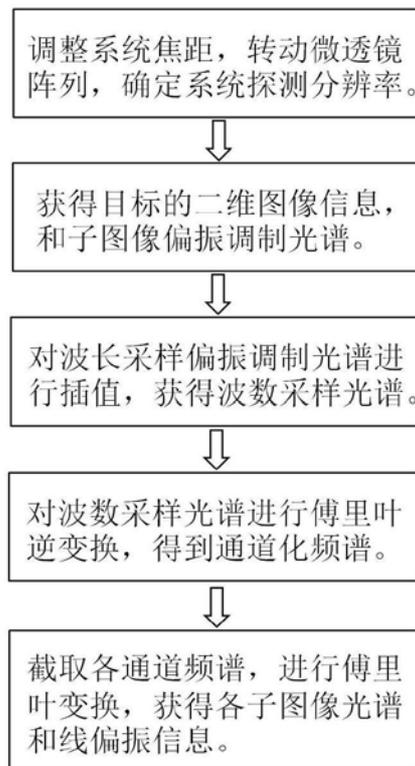


图5