



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106352985 B

(45)授权公告日 2018.05.15

(21)申请号 201610872543.1

(22)申请日 2016.09.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106352985 A

(43)申请公布日 2017.01.25

(73)专利权人 中国科学院光电技术研究所

地址 610209 四川省成都市双流350信箱

(72)发明人 方亮 程欣 彭翔 张辉 刘恩海

(51)Int.Cl.

G01J 3/45(2006.01)

审查员 李培培

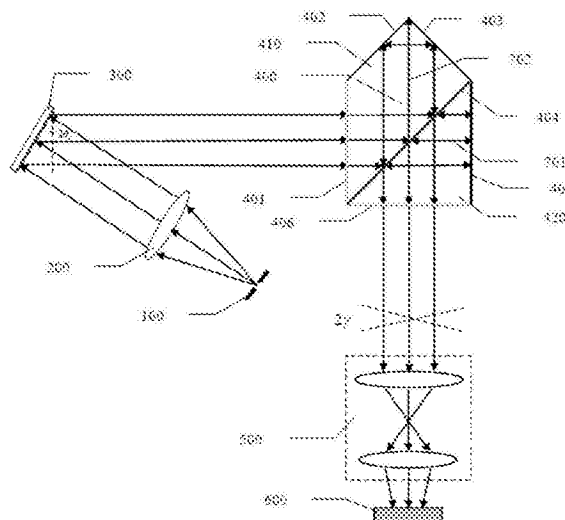
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种非对称空间外差光谱仪结构

(57)摘要

本发明公开了一种非对称空间外差光谱仪结构,包括:入射光阑、准直物镜、闪耀光栅、棱镜集成的干涉模块、成像镜头以及阵列型探测器。其中,棱镜集成的干涉模块为该光谱仪结构的核心部件,由一块直角梯形棱镜和一块等腰三棱镜组成。入射光首先由光栅衍射之后再进入干涉模块,被分束界面分为两束光后,分别由干涉模块中的平面反射镜和普罗棱镜进行反射,实现两光束的非等光程空间干涉。本发明所述的非对称空间外差光谱仪结构中只需要一个光栅,且干涉模块被棱镜集成,具有光路简单、装调方便、光谱分辨率高等优点,可有效提高系统的集成度和稳定性,在多谱线高精度多普勒测速领域有着广泛的应用前景。



1. 一种非对称空间外差光谱仪结构,其特征在于:包括:

—入射光阑(100),用于导入信号光;

—准直物镜(200),用于对导入信号光准直;

—闪耀光栅(300),用于对准直后的信号光色散;

—干涉模块(400),由一块直角梯形棱镜和一块等腰直角三棱镜组成,用于使色散后的信号光实现非对称空间外差干涉,形成干涉条纹;

—成像镜头(500),用于对干涉条纹进行缩小或放大成像;

—阵列式探测器(600),用于对缩小或放大成像后的干涉条纹进行探测;

经所述准直物镜准直后的信号光垂直入射至闪耀光栅;当信号光波长为闪耀波长时,经闪耀光栅后的衍射光垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,且衍射光的光轴通过直角梯形棱镜斜角侧面的几何中心;

进入所述干涉模块后的衍射光被分为两束,分别由反射面(405)和普罗棱镜进行反射,其中,反射面(405)为等腰直角三棱镜中沉积有高反膜的侧面,当入射光波长偏移闪耀波长时,从干涉模块出射的两光束将沿相反的方向小角度偏转,实现两光束的空间干涉;

所述直角梯形棱镜的斜角侧面为一个正方形,且边长不小于入射光斑直径;斜角侧面与下底面的夹角为 45° ;

所述直角梯形棱镜主截面的直角腰边长与上底边长相等;

所述直角梯形棱镜的直角侧面与上底面形成一个普罗棱镜,当光束入射至所述直角梯形棱镜的直角侧面与上底面时将发生全反射,并使全反射光沿原入射光的方向返回;

所述等腰直角三棱镜的侧面为一个正方形,且边长与直角梯形棱镜的斜角侧面边长相等;等腰直角三棱镜的主截面的底边长度与直角梯形棱镜主截面的底边长度相等;

所述等腰直角三棱镜的底面与直角梯形棱镜的底面相互对准胶合,且胶合后等腰直角三棱镜中沉积有高反膜的侧面与直角梯形斜角侧面平行。

2. 根据权利要求1所述的一种非对称空间外差光谱仪结构,其特征在于:斜角侧面沉积有增透膜,作为干涉模块的入射面;下底面沉积有半反半透膜,作为干涉模块的分束界面。

3. 根据权利要求1所述的一种非对称空间外差光谱仪结构,其特征在于:所述等腰直角三棱镜的一个侧面沉积有高反膜,用作一个平面反射镜;另一个侧面沉积有增透膜,作为干涉模块的出射面。

4. 根据权利要求1所述的一种非对称空间外差光谱仪结构,其特征在于:在所述干涉模块中分束后的两束光光程差等于直角梯形棱镜的斜角侧面边长。

一种非对称空间外差光谱仪结构

技术领域

[0001] 本发明属于光谱仪器和干涉仪器设计领域,涉及一种非对称空间外差光谱仪的光学结构设计。

背景技术

[0002] 中高层大气对人类的生活环境和气候变化具有非常重要的影响。为了应对全球气候变暖和南极洲上空的臭氧空洞给人类带来了一系列环境问题,需要对中高层大气行为进行探测和研究。同时,为了保障航空航天等重要发射任务的顺利进行,更需要对中高层大气的气象条件进行精确的监测。因此,准确高效的获取中高层大气的变化规律具有十分重要的意义。

[0003] 大气风场是了解大气变化规律的最重要参数之一,通过对大气风场的探测可获取风速和大气温度等重要信息。目前,探测中高层大气风场的设备主要有以激光雷达为代表的主动式探测仪器和以干涉仪为核心部件的被动式探测仪器。由于被动式探测方式无需激光发射装置,而直接以大气中自然存在的气辉和极光作为目标源,因此结构相对简单,更适合于天基设备。

[0004] 目前,被动式风场探测大多是以迈克耳逊干涉仪为基础模型,利用动镜扫描和“四步探测法”依次探测相邻相位差为 $\pi/2$ 的干涉强度值,获取干涉条纹的相位和调制度,再通过计算反演出风场的速度和温度等信息。例如,风成像干涉仪(WINDII),E层风干涉仪(E-region wind interferometer)以及同温层风干涉仪(Stratospheric wind interferometer)均采用了类似的结构。然而,这类干涉仪的主要不足在于需要构建一套高精度的动镜驱动系统,这将增加仪器的体积和造价,限制了其在航空航天领域的应用。尽管后来发展有“四分区镀膜法”和“偏振干涉法”等技术取代动镜步进,但由于这两种方法均只能针对单一波长进行设计,因此应用范围大打折扣。

[0005] 近年来,国外发展的一种非对称空间外差光谱(DASH)技术综合了无动镜剪切干涉仪技术及傅里叶变换光谱仪技术,同时具备高灵敏度相位传感和高分辨率光谱探测等功能,可实现对中高层大气进行多谱线、高精度的探测。由于系统中不含动镜扫描模块,因此该系统还具有结构简单,造价低廉等优点。为了进一步提高系统的稳定性,国外研究人员采用了koster棱镜结构对系统进行集成,但经棱镜分束后的两束光分别只利用了一半光栅,因此并未充分发挥光栅的色散能力,降低了系统的光谱分辨率。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是:针对koster棱镜集成的非对称空间外差光谱技术中光栅未充分利用等问题,提出一种新型的非对称空间外差光谱仪结构。该结构的核心部件为一块由直角梯形棱镜和等腰三角形棱镜集成的干涉模块,通过该模块可实现光栅线对的充分利用。同时,还具有结构简单、容易装调、结构稳定等优点。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种非对称空间外差光谱仪结构,

包括：

[0008] 一入射光阑,用于导入信号光；

[0009] 一准直物镜,用于对导入信号光准直；

[0010] 一闪耀光栅,用于对准直后的信号光色散；

[0011] 一干涉模块,由一块直角梯形棱镜和一块等腰直角三棱镜组成,用于使色散后的信号光实现非对称空间外差干涉,形成干涉条纹；

[0012] 一成像镜头,用于对干涉条纹进行缩小或放大成像；

[0013] 一阵列式探测器,用于对缩小或放大成像后的干涉条纹进行探测。

[0014] 进一步的,所述直角梯形棱镜的斜角侧面为一个正方形,且边长不小于入射光斑直径;斜角侧面与下底面的夹角为 45° 。

[0015] 进一步的,所述直角梯形棱镜主截面的直角腰边长与上底边长相等。

[0016] 进一步的,所述直角梯形棱镜的直角侧面与上底面形成一个普罗棱镜,当光束入射至所述直角梯形棱镜的直角侧面与上底面时将发生全反射,并使全反射光沿原入射光的方向返回。

[0017] 进一步的,斜角侧面沉积有增透膜,作为干涉模块的入射面;下底面沉积有半反半透膜,作为干涉模块的分束界面。

[0018] 进一步的,所述等腰直角三棱镜的侧面为一个正方形,且边长与直角梯形棱镜的斜角侧面边长相等;等腰直角三棱镜的主截面的底边长度与直角梯形棱镜主截面的底边长度相等。

[0019] 进一步的,所述等腰直角三棱镜的一个侧面沉积有高反膜,用作一个平面反射镜;另一个侧面沉积有增透膜,作为干涉模块的出射面。

[0020] 进一步的,所述等腰直角三棱镜的底面与直角梯形棱镜的底面相互对准胶合,且胶合后等腰直角三棱镜中沉积有高反膜的侧面与直角梯形斜角侧面平行。

[0021] 进一步的,经所述准直物镜准直后的信号光应该垂直入射至闪耀光栅;当信号光波长为闪耀波长时,经闪耀光栅后的衍射光应该垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,且衍射光的光轴应该通过直角梯形棱镜斜角侧面的几何中心。

[0022] 进一步的,进入所述干涉模块后的衍射光被分为两束,分别由平面反射镜和普罗棱镜进行反射。当入射光波长偏移闪耀波长时,从干涉模块出射的两光束将沿相反的方向小角度偏转,实现两光束的空间干涉。在所述干涉模块中分束后的两束光光程差等于直角梯形棱镜的斜角侧面边长。

[0023] 本发明与现有技术相比具有以下优点：

[0024] 1、与常见的测风仪器迈克尔逊干涉仪相比,本发明所述的非对称空间外差光谱仪结构无需动态扫描部件,具有结构简单、稳定性好等优点。同时,可实现多谱线的同时探测,目标源的适用范围更广,多普勒频移的测量精度更高。

[0025] 2、与传统的非对称空间外差光谱仪相比,本发明对干涉模块进行了集成,且仅用一块闪耀光栅,简化了结构,方便了装调,进一步提高了系统的稳定性。

[0026] 3、在koster棱镜集成的非对称空间外差光谱仪中,信号光分成两束光之后再经过同一光栅的不同区域进行衍射,因此光栅的有效线对数利用较少,而本发明中,信号光先经光栅衍射后再由干涉模块分束干涉,因此,整个光栅的线对数均被有效利用,从而使系统获

得更高的光谱分辨率。

[0027] 4、从光栅的工作方式来看,本发明中的信号光垂直入射光栅,入射光与出射光的夹角为闪耀角的2倍,这导致光栅平面与光束波前的倾角也为闪耀角的2倍,因此由光栅倾角引入的两光路采样光程差为 $2W\sin(2\theta)$,约为传统非对称空间外差光谱仪采样光程差 $2W\sin\theta$ 的两倍,因而可进一步提高系统的光谱分辨率。

附图说明

[0028] 图1是本发明实施例中一种非对称空间外差光谱仪结构示意图及当入射光波长为闪耀波长时通过非对称空间外差光谱仪结构的光路图;

[0029] 图中:100为入射光阑;200为准直物镜;300为闪耀光栅;400为干涉模块;500为成像镜头;600为阵列式探测器。410为组成干涉模块的直角梯形棱镜;420为组成干涉模块的等腰直角三棱镜;401为直角梯形棱镜斜角侧面沉积的增透膜;402为直角梯形棱镜上底面,403为直角梯形棱镜直角侧面,402和403组成一个普罗棱镜;404为直角梯形棱镜下底面沉积的半反半透膜;405为等腰直角三棱镜侧面沉积的半反半透膜;406为等腰直角三棱镜另一侧面沉积的增透膜。701和702分别为入射光波长为闪耀波长时经半反半透膜405分光后的两光束。

[0030] 图2是当入射光波长偏离闪耀波长时通过非对称空间外差光谱仪结构的光路图;

[0031] 图中:801和802分别为入射光波长偏离闪耀波长时经半反半透膜405分光后的两光束。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图及具体实施方式详细介绍本发明。但以下的实施例仅限于解释本发明,本发明的保护范围应包括权利要求的全部内容,而且通过以下实施例对领域的技术人员即可以实现本发明权利要求的全部内容。

[0033] 实施例1:

[0034] 本发明的实施例1,是一个光谱分辨本领大于40000,自由光谱范围大于7nm,闪耀波长为632.8nm,分束后两光路的光程差为20mm的非对称空间外差光谱仪。如图1所示,本发明实施例1所述非对称空间外差光谱仪,包括:入射光阑100,准直物镜200,闪耀光栅300,干涉模块400,成像镜头500,阵列型探测器600。其中,入射光阑100的口径为 $200\mu\text{m}$,数值孔径为0.22,准直物镜焦距为40mm,闪耀光栅的闪耀波长为632.8nm,光栅刻线密度为600L/mm,闪耀角为 10.94° ,光栅尺寸为 $20\text{mm}\times 20\text{mm}$,有效口径约为 $0.22\times 2\times 40\text{mm}=17.6\text{mm}$;干涉模块中直角梯形棱镜斜角侧面及等腰直角三棱镜侧面边长均为20mm,使分束后的两束光的光程差为 $2\times 10\text{mm}=20\text{mm}$;成像镜头的成像比例为1:1,探测器像素为 1024×1024 ,像素尺寸为 $16\mu\text{m}$ 。

[0035] 首先对所述非对称空间外差光谱仪进行装调。在装调过程中,采用632.8nm的激光光源作为入射光源,经准直物镜准直后垂直入射至闪耀光栅。调节干涉模块的位置和角度,使经闪耀光栅衍射后的激光光束垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,且使光束的光轴通过直角梯形棱镜斜角侧面的几何中心。进入干涉模块的激光光束被分光界面404分成两束光,其中光束701经反射面405反射后又经分光界面404反射,垂直于出射面406射

出干涉模块;光束702分别经反射面402和403反射又经分光界面404透射后,也垂直于出射面406射出干涉模块。此时两光束形成的干涉场为一恒定强度值的平场,而无法形成空间干涉条纹,表明装调完成。

[0036] 当其他波长的光经闪耀光栅衍射后,将不再垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,而是与斜角侧面法线方向呈小角度进入干涉模块,如图2所示。例如当入射光波长为630nm时,则与斜角侧面法线方向的夹角为 0.1° ,衍射光经分光界面404后将分成801和802两束光,其中光束801经反射面405反射后又经分光界面404反射,与出射面406法线方向呈小角度射出干涉模块;光束802分别经反射面402和403反射后又经分光界面404透射,与出射面406法线方向呈小角度沿相反的方向射出干涉模块。由于两光束互成一定的夹角射出,因此可获得空间分布的干涉条纹,而且两光束之间的夹角及干涉条纹的空间频率与入射光的波长密切相关。通过成像物镜500将干涉条纹成像于阵列型探测器600上,此时干涉条纹的周期为 $180\mu\text{m}$,将探测的干涉条纹进行傅里叶变换等处理后可获得信号光的光谱成分信息和谱线相移信息。系统的光谱分辨本领可由公式 $4W\sin(2\theta_L)/\lambda$ 确定,其中W为光栅的有效口径, θ_L 为光栅的闪耀角, λ 为入射光波长;系统的自由光谱范围为 $N/2 \cdot \lambda^2/4W\sin(2\theta_L)$,其中N为探测器的行像素数;同时,系统探测到的谱线相移信息与目标风场的多普勒速度关系可由公式 $v=c\lambda\delta\varphi/(2\pi d)$ 进行反演,其中c为光速, $\delta\varphi$ 为谱线相移,d为分束后两光路的光程差。通过以上三式,可计算所得系统的光谱分辨本领为41600,自由光谱范围为7.7nm,谱线相移信息与目标风场多普勒速度关系为: $v=1504\delta\varphi$, $\delta\varphi$ 的单位为弧度。

[0037] 实施例2

[0038] 本发明的实施例2,是一个光谱分辨本领大于25000,自由光谱范围大于25nm,闪耀波长为 $1.6\mu\text{m}$,分束后两光路的光程差为25.4mm的非对称空间外差光谱仪。如图1所示,本发明实施例2所述非对称空间外差光谱仪包括:入射光阑100,准直物镜200,闪耀光栅300,干涉模块400,成像镜头500,阵列型探测器600。其中,入射光阑100的口径为 $600\mu\text{m}$,数值孔径为0.39,准直物镜焦距为30mm,闪耀光栅的闪耀波长为 $1.6\mu\text{m}$,光栅刻线密度为300L/mm,闪耀角为 13.88° ,光栅尺寸为 $25.4\text{mm} \times 25.4\text{mm}$,有效口径约为 $0.39 \times 2 \times 30\text{mm} = 23.4\text{mm}$;干涉模块中直角梯形棱镜斜角侧面及等腰直角三棱镜侧面边长均为25.4mm,使分束后的两束光的光程差为 $2 \times 12.7\text{mm} = 25.4\text{mm}$;成像镜头的成像比例为1:1,探测器像素为 1024×1024 ,像素尺寸为 $12\mu\text{m}$ 。

[0039] 首先对所述非对称空间外差光谱仪进行装调。在装调过程中,采用 $1.6\mu\text{m}$ 的激光光源作为入射光源,经准直物镜准直后垂直入射至闪耀光栅。调节干涉模块的位置和角度,使经闪耀光栅衍射后的激光光束垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,且使光束的光轴通过直角梯形棱镜斜角侧面的几何中心。进入干涉模块的激光光束被分光界面404分成两束光,其中光束701经反射面405反射后又经分光界面404反射,垂直于出射面406射出干涉模块;光束702分别经反射面402和403反射又经分光界面404透射后,也垂直于出射面406射出干涉模块。此时两光束形成的干涉场为一恒定强度值的平场,而无法形成空间干涉条纹,表明装调完成。

[0040] 当其他波长的光经闪耀光栅衍射后,将不再垂直于直角梯形棱镜的斜角侧面进入干涉模块,而是与斜角侧面法线方向呈小角度进入干涉模块,如图2所示。例如当入射光波长为 $1.58\mu\text{m}$ 时,则与斜角侧面法线方向的夹角为 0.34° ,衍射光经分光界面404后将分成801

和802两束光,其中光束801经反射面405反射后又经分光界面404反射,与出射面406法线方向呈小角度射出干涉模块;光束802分别经反射面402和403反射后又经分光界面404透射,与出射面406法线方向呈小角度沿相反的方向射出干涉模块。由于两光束互成一定的夹角出射,因此可获得空间分布的干涉条纹,而且两光束之间的夹角及干涉条纹的空间频率与入射光的波长密切相关。通过成像物镜500将干涉条纹成像于阵列型探测器600上,此探测器上的干涉条纹的周期为133 μm ,将探测的干涉条纹进行傅里叶变换等处理后可获得信号光的光谱成分信息和谱线频移信息。系统的光谱分辨本领可由公式 $4W\sin(2\theta_L)/\lambda$ 确定,其中W为光栅的有效口径, θ_L 为光栅的闪耀角, λ 为入射光波长;系统的自由光谱范围为 $N/2 \cdot \lambda^2/4W\sin(2\theta_L)$,其中N为探测器的行像素数;同时,系统探测到的谱线相移信息与目标风场的多普勒速度关系可由公式 $v = c\lambda\delta\varphi/(2\pi d)$ 进行反演,其中c为光速, $\delta\varphi$ 为谱线相移,d为分束后两光路的光程差。通过以上三式,可计算所得系统的光谱分辨本领为27600,自由光谱范围为29.3nm,谱线相移信息与目标风场多普勒速度关系为: $v = 2970\delta\varphi$, $\delta\varphi$ 的单位为弧度。

[0041] 本发明未详细阐述部分属于本领域技术人员的公知技术。

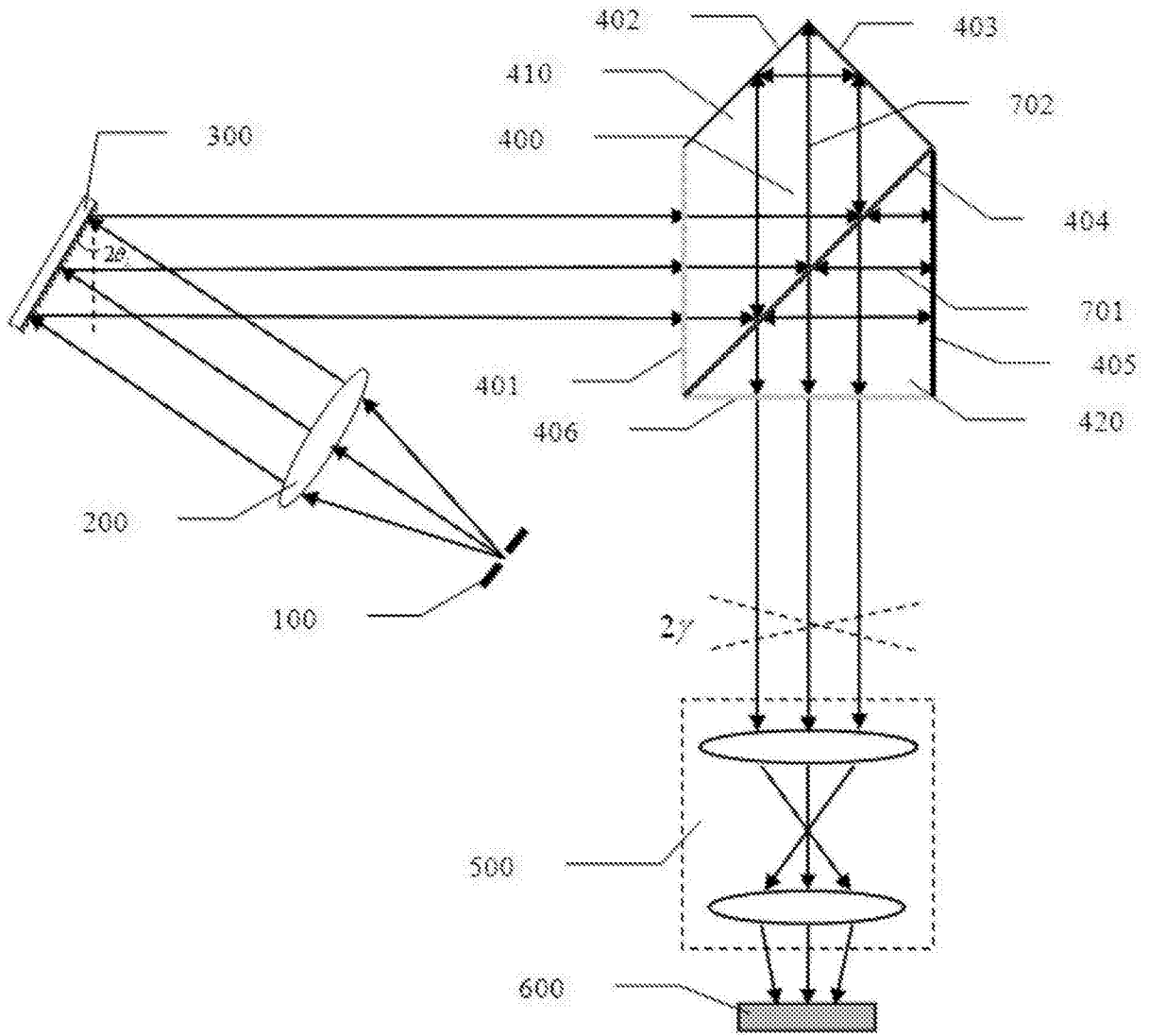


图1

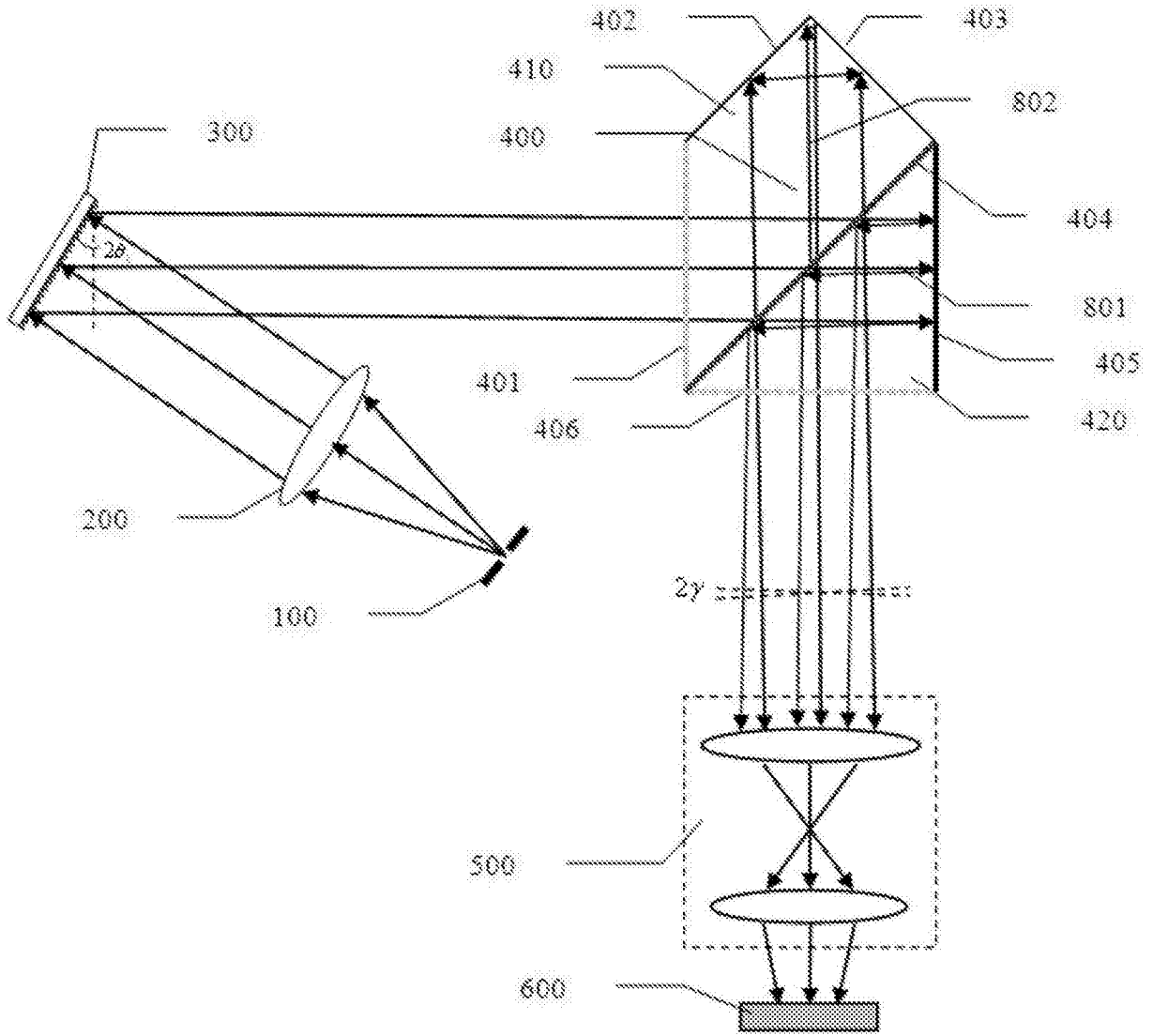


图2