

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 5 月 27 日 (27.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/104992 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01J 3/28 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/137813
- (22) 国际申请日: 2020 年 12 月 19 日 (19.12.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202011314624.2 2020 年 11 月 20 日 (20.11.2020) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 朱嘉诚(ZHU, Jiacheng); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
潘俏(PAN, Qiao); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 陈新华

(CHEN, Xinhua); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 沈为民(SHEN, Weimin); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路 188 号吴中万达广场 A 座苏州大学国家科技园 2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: IMAGING SPECTROMETER WITH CURVED SLIT

(54) 发明名称: 弯曲狭缝成像光谱仪

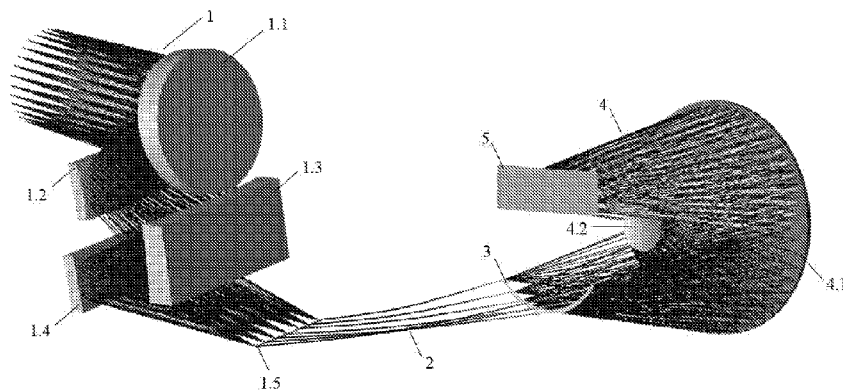


图 1

(57) Abstract: An imaging spectrometer with a curved slit, relating to the technical field of spectral imaging. A straight image face of a front objective lens is transmitted to a curved slit by means of an optical fiber image transmission beam, and the front objective lens does not need to form a curved image face to be directly butt-jointed with a light-splitting apparatus, such that the complexity of a system is reduced, and the front objective lens and the light-splitting apparatus also have a simple structure; an ultra-long slit is realized by means of matching a circular-arc-shaped or approximately circular-arc-shaped curved slit with the optimal imaging circle of an Offner-type light-splitting apparatus, a slit in an arc direction is increased 5-10 times in terms of length compared with a straight slit of a classic Offner-type light-splitting apparatus, and the slit length can surpass 100 mm when the size is compact; moreover, the imaging spectrometer has consistent spectral response functions in different fields of view and excellent imaging quality, and is applicable to wide-width, high-spatial-resolution and medium-high-spectral-resolution hyperspectral remote sensing.



MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种弯曲狭缝成像光谱仪, 涉及光谱成像技术领域。通过光纤传像束将前置物镜的直像面传递至弯曲狭缝, 不需要前置物镜成弯曲像面与分光装置直接对接, 降低了系统复杂程度, 同时前置物镜与分光装置结构简单; 通过圆弧或近圆弧形的弯曲狭缝, 与Offner型分光装置最佳成像圆匹配, 实现超长狭缝, 沿弧线方向的狭缝比经典Offner型分光装置的直狭缝增长5~10倍, 在体积紧凑的情况下狭缝长度能够突破100mm; 同时在不同视场具有一致的光谱响应函数, 成像质量优, 适用于宽幅、高空间分辨率、中高光谱分辨率的高光谱遥感。

弯曲狭缝成像光谱仪

技术领域

本发明涉及光谱成像技术领域，涉及一种弯曲狭缝成像光谱仪。

5 背景技术

上世纪 80 年代，随着对地观测应用的发展需要，成像光谱技术兴起。它是综合了空间成像技术和光谱成像技术的新兴领域，极大地拓宽了人们在航天遥感领域、农林资源探测、矿物资源与地质勘探、军事侦测、生物医疗等方面的应用范围。

10 成像光谱仪由前置物镜和分光装置构成，可分为色散型、干涉型等。传统的色散型成像光谱仪由前置物镜直接成像至狭缝，狭缝是分光装置物面，经过狭缝的光线再由分光装置分光成像。现有结构在直狭缝长度较短时能够很好的满足仪器指标要求，但是对于需满足宽幅、高空间分辨率要求的长狭缝系统而言，存在较大像差且光谱图像易失真。

15 为实现宽幅，通常采用视场拼接的方式，将长狭缝系统分为多个中短狭缝系统拼接而成，但拼接后的系统结构复杂，体积庞大。而星载成像光谱仪一般对仪器的重量、体积等几何物理量要求较高，过大的体积和重量导致仪器的生产、制造、发射等成本急剧增加。

现有的成像光谱仪中，多为中短狭缝系统，均采用直狭缝，狭缝长度都在
20 30mm 以内，狭缝长度的增加会使光学系统像差迅速增大，仅凭单台分光系统难以满足宽幅和高空间分辨率的应用需求，狭缝长度超过 100mm 的成像光谱仪鲜有报道。上世纪 80 年代末，Wynne 提出在一比一成像的 Offner 中继系统中引

入弯月形透镜，可补偿长狭缝时的球差和像散，实现较好的成像质量。在开启对 Offner 型成像光谱仪的研究之后，不少学者又进一步发展和完善了 Offner-Wynne 型成像光谱仪的理论，它能够获得比经典 Offner 分光装置长的狭缝。但弯月镜的引入带来的新问题是，在弯月镜表面制作光栅成本高；弯月镜表面入射角大，会使成像光谱仪产生偏振。因此亟需提出一种结构简单、体积紧凑、狭缝长的成像光谱仪以满足航天遥感应用中对宽幅、高空间分辨率的需求。

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种同时具备狭缝长、结构简单、体积紧凑、成像质量优等特点的弯曲狭缝成像光谱仪光学系统，适用于宽幅、高空间分辨率、中高光谱分辨率的高光谱遥感。

为了解决上述技术问题，本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

一种弯曲狭缝成像光谱仪，包括前置物镜、光纤传像束、弯曲狭缝、Offner 型分光装置、焦平面探测器；

前置物镜对目标场景成像，光纤传像束将前置物镜所成直线形像传递至弯曲狭缝，所述弯曲狭缝形状为圆弧或近圆弧形，光线经弯曲狭缝进入 Offner 型分光装置，由 Offner 型分光装置分光成像至焦平面探测器上。

优选的，所述前置物镜为透射式物镜、反射式物镜或折反式物镜。

优选的，所述 Offner 型分光装置包括凹球面反射镜和凸球面光栅，所述凹球面反射镜和凸球面光栅同轴设置，从弯曲狭缝入射的光线经球面反射镜反射后，光线以会聚光束入射到所述凸球面光栅上进行光谱分光，再由所述凹球面反射镜将分光后的光线成像至焦平面探测器完成光谱成像。

优选的，所述光纤传像束入射端面排列为直线形，与前置物镜所成像重合，

所述光纤传像束出射端面排列为圆弧形，与弯曲狭缝重合。

优选的，所述弯曲狭缝在与 Offner 型分光装置的最佳成像圆视场重合或在其附近，所述弯曲狭缝的圆弧圆心设置在所述 Offner 型分光装置的光轴上或光轴附近。

- 5 优选的，当 Offner 型分光装置凹球面反射镜半径为 R_1 ，凸球面光栅曲率半径为 R_2 ，Offner 型分光装置最佳圆视场半径为 r ，

$$r = R_1 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{4R_2^2}}$$

所述弯曲狭缝为半径为 r_s 的圆弧或为处于半径为 r_1 和 r_2 两段圆弧之间的近圆弧曲线，其中 $r_1 = 0.8r$ ， $r_2 = 1.2r$ ， $r_1 \leq r_s \leq r_2$ 。

- 10 优选的，所述前置物镜和 Offner 型分光装置的数值孔径相同，光纤传像束的数值孔径大于等于前置物镜的数值孔径；所述光纤传像束的光纤纤芯直径范围为 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

优选的，所述凹球面反射镜与凸球面光栅的曲率半径之比为 $1.9:1 \sim 2.2:1$ ，球心间距小于 $0.1R_2$ 。

- 15 优选的，在焦平面探测器上所成谱线形状与弯曲狭缝形状一致，通过映射变换算法将其变换为与地面探测像素对应的直线形谱线，映射关系为将圆弧形

谱线所在方程 $y_1 = r_s - \sqrt{r_s^2 - x_1^2}$ 变换至直谱线所在方程 $\begin{cases} y_2 = k \\ x_2 = \text{atan}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \cdot r_s \end{cases}$ ，其中， k 为常数。

本发明的有益效果：

- 20 本发明通过光纤传像束将前置物镜的直像面传递至弯曲狭缝，不需要前置物镜成弯曲像面与分光装置直接对接，降低了系统复杂程度，同时前置物镜与分光装置结构简单；通过圆弧或近圆弧形的弯曲狭缝，与 Offner 型分光装置最

佳成像圆匹配，实现超长狭缝，沿弧线方向的狭缝可比经典 Offner 型分光装置的直狭缝增长 5~10 倍，在体积紧凑的情况下狭缝长度能够突破 100mm；同时在不同视场具有一致的光谱响应函数，成像质量优，适用于宽幅、高空间分辨率、中高光谱分辨率的高光谱遥感。

5 附图说明

图 1 是本发明的弯曲狭缝成像光谱仪光路三维视图；

图 2 是本发明的弯曲狭缝成像光谱仪中 Offner 型分光装置的光路轴向视图；

图 3 是本发明的弯曲狭缝成像光谱仪中 Offner 型分光装置 1/4 物面内的最佳成像圆视场；

图 4 是本发明的弯曲狭缝成像光谱仪焦平面探测器上所成的弯曲谱线图像与映射变换后的直谱线图像；

图 5 是本发明实施例提供的一种弯曲狭缝成像光谱仪的调制传递函数曲线。

图 6 是本发明实施例提供的一种弯曲狭缝成像光谱仪的焦平面探测器所成光谱像与用于校正背景噪声和暗电流噪声的像元范围示意图。

图中标号说明：1、前置物镜、1.1、前置物镜主镜、1.2、前置物镜次镜、1.3、前置物镜三镜、1.4、前置物镜折叠镜、1.5、前置物镜像面；2、光纤传像束；3、弯曲狭缝；4、Offner 型分光装置；4.1、凹球面反射镜 4.2、凸球面光栅；5、焦平面探测器；6、弯曲谱线图像；7、直谱线图像；

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明，以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施，但所举实施例不作为对本发明的限定。

参照图 1-6 所示，一种弯曲狭缝成像光谱仪，包括前置物镜、光纤传像束、弯曲狭缝、Offner 型分光装置、焦平面探测器；

前置物镜对目标场景成像，光纤传像束将前置物镜所成直线形像传递至弯曲狭缝，所述弯曲狭缝形状为圆弧或近圆弧形，光线经弯曲狭缝进入 Offner 型分光装置，由 Offner 型分光装置分光成像至焦平面探测器上。

本发明通过光纤传像束将前置物镜的直像面传递至弯曲狭缝，不需要前置物镜成弯曲像面与分光装置直接对接，降低了系统复杂程度，同时前置物镜与分光装置结构简单；通过圆弧或近圆弧形的弯曲狭缝，与 Offner 型分光装置最佳成像圆匹配，实现超长狭缝，沿弧线方向的狭缝可比经典 Offner 型分光装置的直狭缝增长 5~10 倍，在体积紧凑的情况下狭缝长度能够突破 100mm；同时在不同视场具有一致的光谱响应函数，成像质量优，适用于宽幅、高空间分辨率、中高光谱分辨率的高光谱遥感。

本发明满足宽幅、高空间分辨率星载成像光谱仪的需求，突破现有成像光谱仪中直狭缝长度短的局限。

其中，前置物镜所成像长度与弯曲狭缝弧长相同。

所述前置物镜为透射式物镜、反射式物镜或折反式物镜。

所述前置物镜为离轴三反望远物镜，其包括前置物镜主镜、前置物镜次镜、前置物镜三镜、前置物镜折叠镜、前置物镜像面，目标场景成像依次经过前置物镜主镜、前置物镜次镜、前置物镜三镜、前置物镜折叠镜，最后经过前置物镜像面传递至光纤传像束。

所述 Offner 型分光装置包括凹球面反射镜和凸球面光栅，所述凹球面反射镜和凸球面光栅同轴设置，从弯曲狭缝入射的光线经球面反射镜反射后，光线以会聚光束入射到所述凸球面光栅上进行光谱分光，再由所述凹球面反射镜将

分光后的光纤成像至焦平面探测器完成光谱成像。

具体的,所述 Offner 型分光装置由一块凹球面反射镜和一块凸球面光栅同轴构成;

所述弯曲狭缝在与 Offner 型分光装置的最佳成像圆视场重合或在其附近,
5 所述弯曲狭缝的圆弧圆心设置在所述 Offner 型分光装置的光轴上或光轴附近

从弯曲狭缝入射的光线经球面反射镜反射后,以会聚光束的形式入射到所述凸球面光栅上;经过凸球面光栅衍射后实现光谱分光,同时将会聚光束变为发散光束;最后由所述凹球面反射镜将分光后的光束成像至焦平面探测器,实现光谱成像。

10 所成光谱像为弯曲形状,未充满焦平面探测器,焦平面探测器上有光谱像位置像元灰度值 I_s 减去无光谱像位置像元灰度均值 I_N ,校正背景噪声和暗电流噪声,用以得到降噪的光谱数据。

该成像光谱仪焦平面探测器上存在接收不到光谱像的像元,可利用这部分像元校正背景噪声和暗电流噪声,获得降噪处理的高光谱数据,提高数据保真
15 度。

所述光纤传像束入射端面排列为直线形,与前置物镜所成像重合,所述光纤传像束出射端面排列为圆弧形,与弯曲狭缝重合。

当 Offner 型分光装置凹球面反射镜半径为 R_1 ,凸球面光栅曲率半径为 R_2 ,Offner 型分光装置最佳圆视场半径为 r ,

$$20 \quad r = R_1 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{4R_2^2}}$$

所述弯曲狭缝为半径为 r_s 的圆弧或为处于半径为 r_1 和 r_2 两段圆弧之间的近圆弧曲线,其中 $r_1 = 0.8r$, $r_2 = 1.2r$, $r_1 \leq r_s \leq r_2$ 。

所述前置物镜和 Offner 型分光装置的数值孔径相同,光纤传像束的数值孔

径大于等于前置物镜的数值孔径；所述光纤传像束的光纤纤芯直径范围为 5～50 μm。

所述凹球面反射镜与凸球面光栅的曲率半径之比为 1.9:1～2.2:1，球心间距小于 $0.1R_2$ 。

5 在焦平面探测器上所成谱线形状与弯曲狭缝形状一致，通过映射变换算法将其变换为与地面探测像素对应的直线形谱线，映射关系为将圆弧形谱线所在

方程 $y_1 = r_s - \sqrt{r_s^2 - x_1^2}$ 变换至直谱线所在方程 $\begin{cases} y_2 = k \\ x_2 = \arctan\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \cdot r_s \end{cases}$ ，其中，k 为常数。

参阅图 2，是本发明的弯曲狭缝成像光谱仪中 Offner 型分光装置的光路轴向视图。由图可以看出，凹球面反射镜与凸球面光栅同轴，轴线即为 Offner 型分光装置的光轴，弯曲狭缝的圆弧圆心在该光轴附近，该光轴的附近是指在以光轴为圆心 2-5 厘米半径范围内。

参阅图 3，Offner 型分光装置物面内的最佳成像圆视场，弯曲狭缝在物面内的位置与该最佳成像圆视场重合。

15 参阅图 4，Offner 型分光装置的成像放大率为 1:1，在焦平面探测器上所成弯曲谱线图像与弯曲狭缝的形状一致，进行映射变换后获得直谱线图像，弯曲谱线图像的谱线弧长与直谱线图像的谱线长度相同，弯曲谱线图像中不同波长谱线间隔与直谱线图像中不同波长谱线间隔相同，直谱线图像中不同波长谱线相互平行。

20 在一个实施例中，参考图 1，所提供的弯曲狭缝成像光谱仪相关指标为：

光谱范围：400～1000nm；

系统 F 数：3；

视场角：10.22°；

焦距：560mm；

狭缝长度：100mm；

光谱分辨率：2nm；

像平面色散宽度：6mm；

5 探测器像元大小：20 μm $\times$ 20 μm ；

探测器规模：2560 $\times$ 1280。

该实施例中各光学元件的具体光学参数参见表 1，表中“面型”表示各光学面名称；“曲率半径”表示各光学表面曲率半径大小；“距离”表示该光学面顶点到下一个光学面顶点的横向距离。其中凸球面光栅刻线密度为 89 Lp/mm；

10 光纤纤芯直径为 20 μm ，1 根光纤对应一个探测器像元，共采用 5000 根光纤，光纤长度为 20cm；弯曲狭缝弧形半径为 53.8mm，弧长为 100mm，弯曲狭缝离轴量为 55.2mm；焦平面探测器离轴量为 36.5mm；。

表 1 弯曲狭缝成像光谱仪光学参数

面型	曲率半径/mm	距离/mm
前置物镜主镜	838.6 二次非球面系数：-4.054	-158.9
前置物镜次镜	318.4 二次非球面系数：-1.523	179.6
前置物镜三镜	540.8 二次非球面系数：-0.403	-200.3
前置物镜折叠镜	∞	297.7
弯曲狭缝	53.8	206.7
凹球面反射镜	216.9	-105.1
凸球面光栅	112.4	105.1
凹球面反射镜	216.9	-206.3

焦平面探测器	∞	—
--------	----------	---

参见图 5，它是本实施例供的一种弯曲狭缝成像光谱仪的调制传递函数曲线，该分光装置在探测器奈奎斯特频率 25 Lp/mm 处的调制传递函数大于 0.91，十分接近衍射极限，成像质量优良，且不同视场处传函表现一致，表明光谱响应函数的一致性。

5 参考图 6，它是本实施例供的一种弯曲狭缝成像光谱仪的焦平面探测器所成光谱像与用于校正背景噪声和暗电流噪声的像元范围示意图。光谱像位置的每个像元灰度值 I_S 与无光谱像位置的像元灰度均值 I_N 作差，去除背景噪声和暗电流噪声，获得降噪的光谱数据 I_S-I_N 。

10 以上所述实施例仅是为充分说明本发明而所举的较佳的实施例，本发明的保护范围不限于此。本技术领域的技术人员在本发明基础上所作的等同替代或变换，均在本发明的保护范围之内。本发明的保护范围以权利要求书为准。

权 利 要 求 书

1. 一种弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，包括前置物镜、光纤传像束、弯曲狭缝、Offner 型分光装置、焦平面探测器；

前置物镜对目标场景成像，光纤传像束将前置物镜所成直线形像传递至弯曲狭缝，所述弯曲狭缝形状为圆弧或近圆弧形，光线经弯曲狭缝进入 Offner 型分光装置，由 Offner 型分光装置分光成像至焦平面探测器上。

2. 如权利要求 1 所述的弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，所述前置物镜为透射式物镜、反射式物镜或折反式物镜。

3. 如权利要求 1 所述的弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，所述 Offner 型分光装置包括凹球面反射镜和凸球面光栅，所述凹球面反射镜和凸球面光栅同轴设置，从弯曲狭缝入射的光线经球面反射镜反射后，光线以会聚光束入射到所述凸球面光栅上进行光谱分光，再由所述凹球面反射镜将分光后的光纤成像至焦平面探测器完成光谱成像。

4. 如权利要求 1 所述的弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，所述光纤传像束入射端面排列为直线形，与前置物镜所成像重合，所述光纤传像束出射端面排列为圆弧形，与弯曲狭缝重合。

5. 如权利要求 4 所述的弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，所述弯曲狭缝在与 Offner 型分光装置的最佳成像圆视场重合或在其附近，所述弯曲狭缝的圆弧圆心设置在所述 Offner 型分光装置的光轴上或光轴附近。

6. 如权利要求 4 所述的弯曲狭缝成像光谱仪，其特征在于，当 Offner 型分光装置凹球面反射镜半径为 R_1 ，凸球面光栅曲率半径为 R_2 ，Offner 型分光装置最佳圆视场半径为 r ，

$$r = R_1 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{4R_2^2}}$$

所述弯曲狭缝为半径为 r_s 的圆弧或为处于半径为 r_1 和 r_2 两段圆弧之间的近圆弧曲线, 其中 $r_1 = 0.8r$, $r_2 = 1.2r$, $r_1 \leq r_s \leq r_2$ 。

7. 如权利要求 1 所述的弯曲狭缝成像光谱仪, 其特征在于, 所述前置物镜和 Offner 型分光装置的数值孔径相同, 光纤传像束的数值孔径大于等于前置物镜的数值孔径; 所述光纤传像束的光纤纤芯直径范围为 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

8. 如权利要求 7 所述的弯曲狭缝成像光谱仪, 其特征在于, 所述凹球面反射镜与凸球面光栅的曲率半径之比为 $1.9:1 \sim 2.2:1$, 球心间距小于 $0.1R_2$ 。

9. 如权利要求 7 所述的弯曲狭缝成像光谱仪, 其特征在于, 在焦平面探测器上所成谱线形状与弯曲狭缝形状一致, 通过映射变换算法将其变换为与地面探测像素对应的直线形谱线, 映射关系为将圆弧形谱线所在方程 $y_1 = r_s - \sqrt{r_s^2 - x_1^2}$

变换至直谱线所在方程
$$\begin{cases} y_2 = k \\ x_2 = \text{atan}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \cdot r_s \end{cases}$$
, 其中, k 为常数。

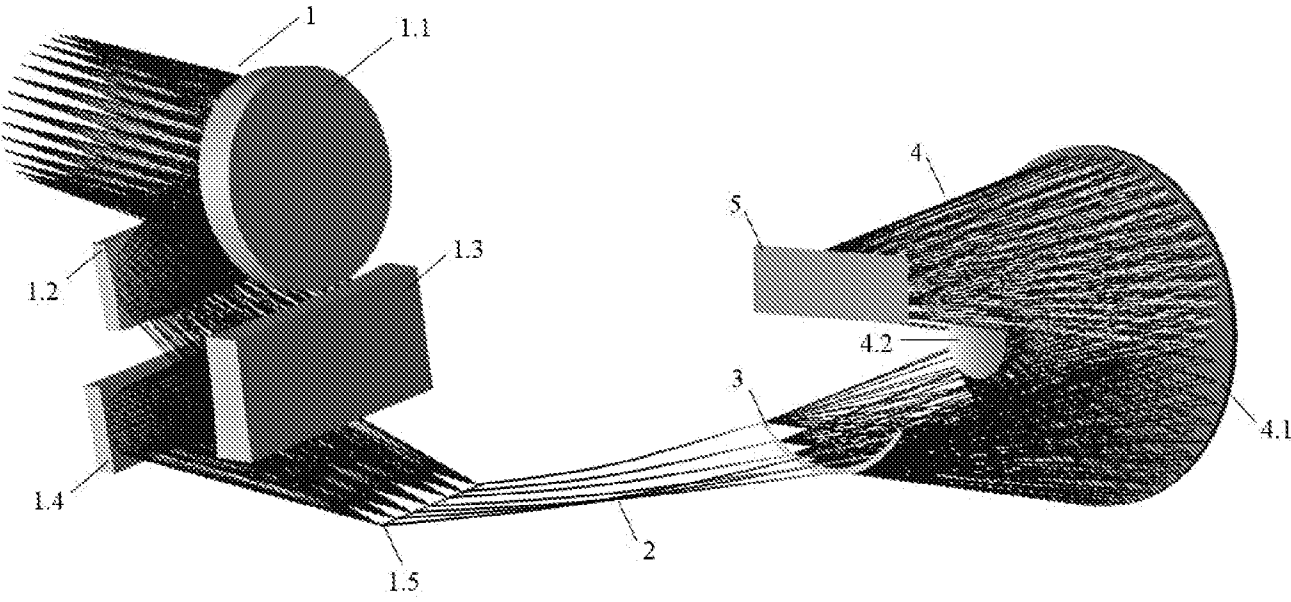


图 1

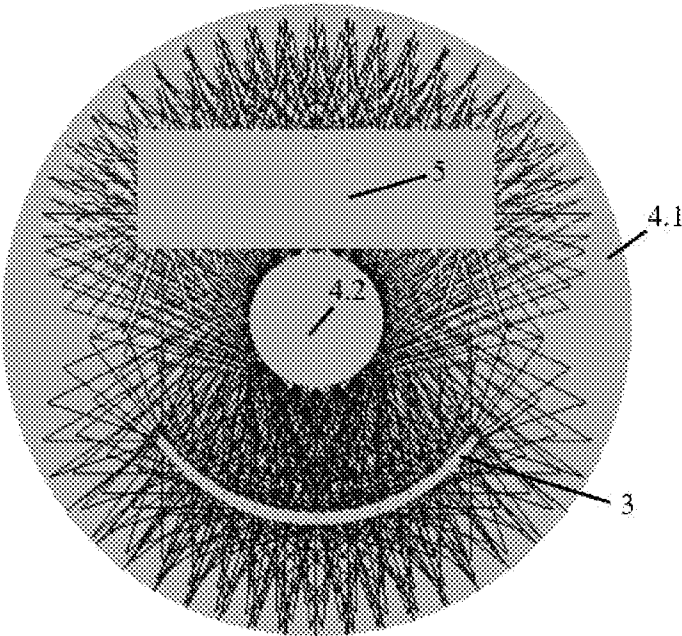


图 2

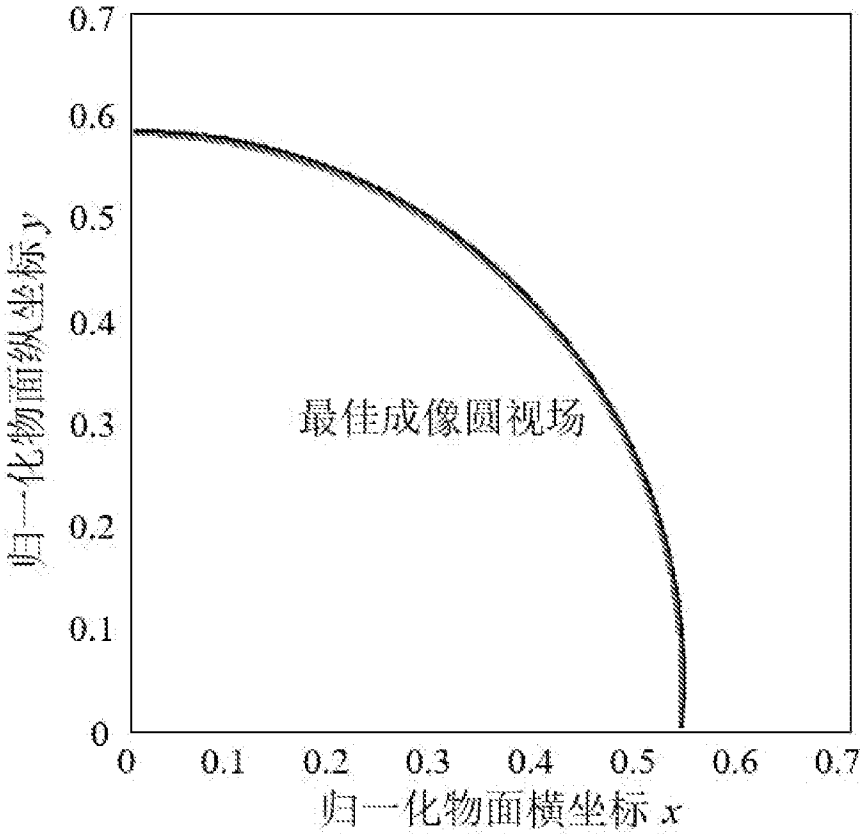


图 3

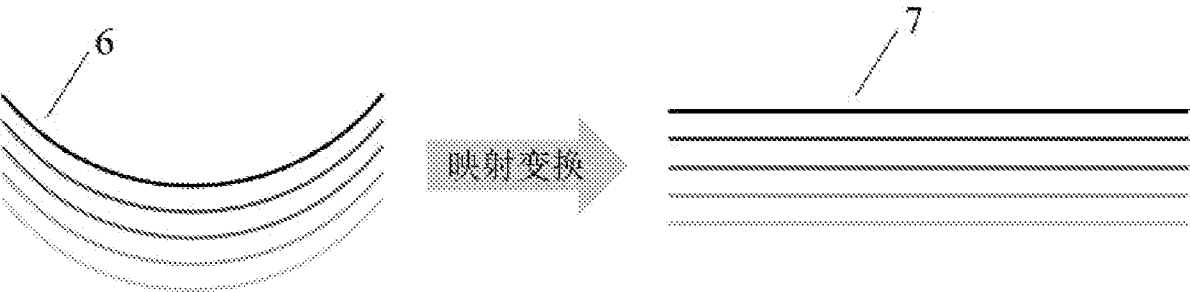
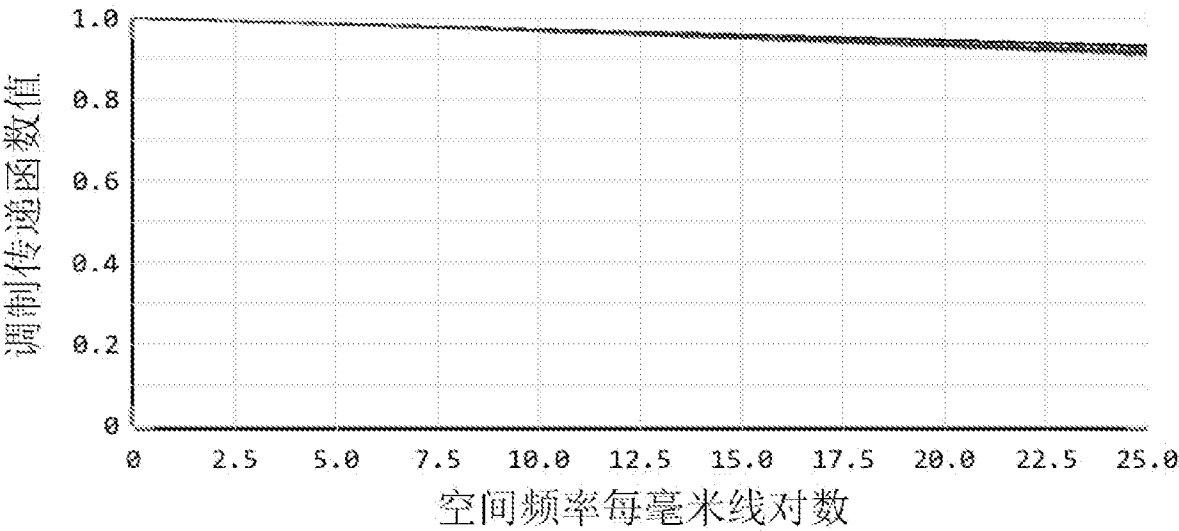


图 4



Diff. Mod. Tangential	Diff. Mod. Sagittal	25.87, 12.58 on-Tangential	25.87, 12.58 on-Sagittal
20.89, 7.48 on-Tangential	20.89, 7.48 on-Sagittal	19.82, 5.07 on-Tangential	19.82, 5.07 on-Sagittal
10.81, 3.78 on-Tangential	10.81, 3.78 on-Sagittal	9.87, 2.42 on-Tangential	9.87, 2.42 on-Sagittal
6.88, 2.48 on-Tangential	6.88, 2.48 on-Sagittal	5.87, 1.58 on-Tangential	5.87, 1.58 on-Sagittal
3.89, 1.78 on-Tangential	3.89, 1.78 on-Sagittal	2.87, 0.87 on-Tangential	2.87, 0.87 on-Sagittal
1.89, 0.48 on-Tangential	1.89, 0.48 on-Sagittal	0.87, 0.37 on-Tangential	0.87, 0.37 on-Sagittal

图 5

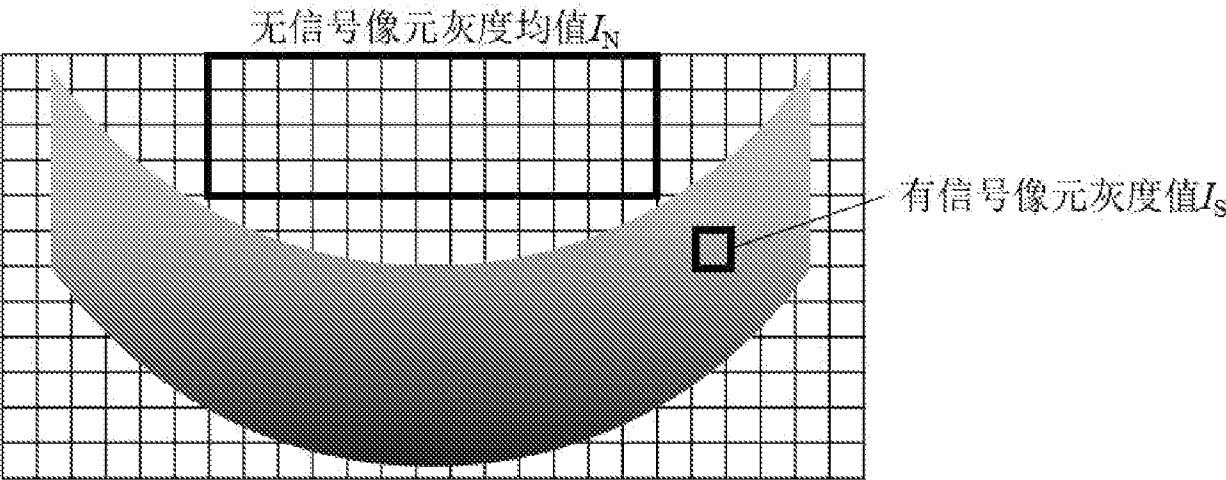


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/137813

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01J 3/28(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01J3/- Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 光谱成像, 光谱仪, 光谱成像, 隙, 缝, 圆, 弯月, 弧, Offner, curve+, curva+, arc+, bend+, bent +, long+, inflect+, slit????, hole? open???, aperture?, diaphragm+, slot																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>US 2004090623 A1 (RICHTMAN, Isaac) 13 May 2004 (2004-05-13) description, paragraphs [0012]-[0031], and figures 1-4</td> <td>1-5, 7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>E. Oliva et al. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" <i>PROCEEDINGS OF SPIE</i>, Vol. 9147, 28 July 2014 (2014-07-28), pages 91472C-1-9147C-10</td> <td>1-5, 7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106885629 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 23 June 2017 (2017-06-23) description, paragraphs [0008]-[0033], and figures 1-3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110108357 A (HARBIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 August 2019 (2019-08-09) entire document</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109682469 A (ELECTRONIC PHOTONIC IC INC, et al.) 26 April 2019 (2019-04-26) entire document</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	US 2004090623 A1 (RICHTMAN, Isaac) 13 May 2004 (2004-05-13) description, paragraphs [0012]-[0031], and figures 1-4	1-5, 7	Y	E. Oliva et al. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" <i>PROCEEDINGS OF SPIE</i> , Vol. 9147, 28 July 2014 (2014-07-28), pages 91472C-1-9147C-10	1-5, 7	Y	CN 106885629 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 23 June 2017 (2017-06-23) description, paragraphs [0008]-[0033], and figures 1-3	3	A	CN 110108357 A (HARBIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 August 2019 (2019-08-09) entire document	1-9	A	CN 109682469 A (ELECTRONIC PHOTONIC IC INC, et al.) 26 April 2019 (2019-04-26) entire document	1-9
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
Y	US 2004090623 A1 (RICHTMAN, Isaac) 13 May 2004 (2004-05-13) description, paragraphs [0012]-[0031], and figures 1-4	1-5, 7																		
Y	E. Oliva et al. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" <i>PROCEEDINGS OF SPIE</i> , Vol. 9147, 28 July 2014 (2014-07-28), pages 91472C-1-9147C-10	1-5, 7																		
Y	CN 106885629 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 23 June 2017 (2017-06-23) description, paragraphs [0008]-[0033], and figures 1-3	3																		
A	CN 110108357 A (HARBIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 August 2019 (2019-08-09) entire document	1-9																		
A	CN 109682469 A (ELECTRONIC PHOTONIC IC INC, et al.) 26 April 2019 (2019-04-26) entire document	1-9																		
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																				
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																				
Date of the actual completion of the international search 23 July 2021		Date of mailing of the international search report 18 August 2021																		
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.																		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/137813

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2004090623	A1	13 May 2004	US	2005036141	A1	17 February 2005
				AU	2003291354	A1	03 June 2004
				US	6813018	B2	02 November 2004
				US	7116418	B2	03 October 2006
				WO	2004044537	A1	27 May 2004
CN	106885629	A	23 June 2017	None			
CN	110108357	A	09 August 2019	None			
CN	109682469	A	26 April 2019	CN	109682469	B	02 April 2021
				WO	2016040603	A1	17 March 2016
				US	2017102270	A1	13 April 2017
				CN	107148561	B	11 January 2019
				US	9939320	B2	10 April 2018
				CN	107148561	A	08 September 2017
				US	2015070697	A1	12 March 2015
				US	9612155 B2	B2	04 April 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/137813

A. 主题的分类 G01J 3/28(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01J3/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 光谱成像, 光谱仪, 光谱成像, 隙, 缝, 圆, 弯月, 弧, Offner, curve+, curva+, arc+, bend+, bent+, long+, inflect+, slit????, hole? open???, aperture?, diaphragm+, slot																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>US 2004090623 A1 (RICHMAN, Isaac) 2004年 5月 13日 (2004 - 05 - 13) 说明书第[0012]-[0031]段, 图1-4</td> <td>1-5, 7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>E. Oliva 等. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" PROCEEDINGS OF SPIE, 第9147卷, 2014年 7月 28日 (2014 - 07 - 28), 第91472C-1-9147C-10页</td> <td>1-5, 7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106885629 A (苏州大学) 2017年 6月 23日 (2017 - 06 - 23) 说明书第[0008]-[0033]段, 图1-3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110108357 A (哈尔滨理工大学) 2019年 8月 9日 (2019 - 08 - 09) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109682469 A (电子光子集成电路股份有限公司 等) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	US 2004090623 A1 (RICHMAN, Isaac) 2004年 5月 13日 (2004 - 05 - 13) 说明书第[0012]-[0031]段, 图1-4	1-5, 7	Y	E. Oliva 等. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" PROCEEDINGS OF SPIE, 第9147卷, 2014年 7月 28日 (2014 - 07 - 28), 第91472C-1-9147C-10页	1-5, 7	Y	CN 106885629 A (苏州大学) 2017年 6月 23日 (2017 - 06 - 23) 说明书第[0008]-[0033]段, 图1-3	3	A	CN 110108357 A (哈尔滨理工大学) 2019年 8月 9日 (2019 - 08 - 09) 全文	1-9	A	CN 109682469 A (电子光子集成电路股份有限公司 等) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	US 2004090623 A1 (RICHMAN, Isaac) 2004年 5月 13日 (2004 - 05 - 13) 说明书第[0012]-[0031]段, 图1-4	1-5, 7																		
Y	E. Oliva 等. "Updated optical design and trade-off study for MOONS, the Multi-Object Optical and Near Infrared spectrometer for the VLT" PROCEEDINGS OF SPIE, 第9147卷, 2014年 7月 28日 (2014 - 07 - 28), 第91472C-1-9147C-10页	1-5, 7																		
Y	CN 106885629 A (苏州大学) 2017年 6月 23日 (2017 - 06 - 23) 说明书第[0008]-[0033]段, 图1-3	3																		
A	CN 110108357 A (哈尔滨理工大学) 2019年 8月 9日 (2019 - 08 - 09) 全文	1-9																		
A	CN 109682469 A (电子光子集成电路股份有限公司 等) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 全文	1-9																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																			
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																		
2021年 7月 23日		2021年 8月 18日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																		
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		张苗 电话号码 86-(10)-53962616																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/137813

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2004090623	A1	2004年 5月 13日	US	2005036141	A1	2005年 2月 17日
				AU	2003291354	A1	2004年 6月 3日
				US	6813018	B2	2004年 11月 2日
				US	7116418	B2	2006年 10月 3日
				WO	2004044537	A1	2004年 5月 27日
CN	106885629	A	2017年 6月 23日	无			
CN	110108357	A	2019年 8月 9日	无			
CN	109682469	A	2019年 4月 26日	CN	109682469	B	2021年 4月 2日
				WO	2016040603	A1	2016年 3月 17日
				US	2017102270	A1	2017年 4月 13日
				CN	107148561	B	2019年 1月 11日
				US	9939320	B2	2018年 4月 10日
				CN	107148561	A	2017年 9月 8日
				US	2015070697	A1	2015年 3月 12日
				US	9612155B2	B2	2017年 4月 4日