

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01J 3/28 (2006.01)

G01N 21/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810051552.X

[43] 公开日 2009 年 5 月 6 日

[11] 公开号 CN 101424571A

[22] 申请日 2008.12.9

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所

[21] 申请号 200810051552.X

代理人 王立伟

[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 130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 刘英 孙强 卢振武 王健

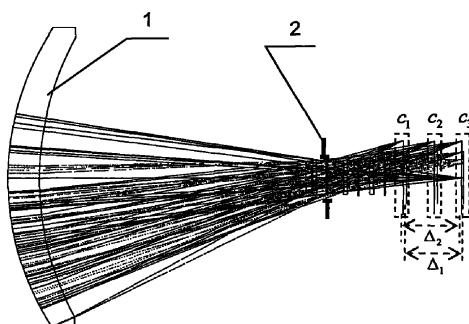
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

[54] 发明名称

谐衍射红外双波段超光谱成像系统

[57] 摘要

谐衍射红外双波段超光谱成像系统，属于光学成像系统。该系统包括中红外波段 $3.2 - 4.8 \mu m$ 和长红外波段 $8 - 12 \mu m$ 双波段超光谱成像系统，其中包括谐衍射透镜，孔径光阑，制冷型焦平面探测器或非制冷型焦平面探测器；各部件的位置及连接关系：在同一光轴上沿入射光传播方向依次放置谐衍射透镜，孔径光阑，制冷型焦平面探测器或者非制冷型焦平面探测器；入射的中、长红外波段通过谐衍射透镜分光和会聚后，经孔径光阑，分别成像在制冷型焦平面探测器或者非制冷型焦平面探测器上。本发明的优点：通过优化设计谐衍射面的面形参数和谐衍射透镜及孔径光阑之间的距离，使系统的单色像差达到最佳分配，满足光学系统在中、长波红外各个波长的成像要求。



1、谐衍射红外双波段超光谱成像系统，其特征在于谐衍射红外双波段超光谱成像系统包括中红外波段超光谱成像系统，其中包括谐衍射透镜（1），孔径光阑（2），制冷型焦平面探测器（3）；长红外波段超光谱成像系统，其中包括谐衍射透镜（1），孔径光阑（2），非制冷型焦平面探测器（3'）；各部件的位置及连接关系；

在同一光轴上沿入射光传播方向依次放置谐衍射透镜（1），孔径光阑（2），制冷型焦平面探测器（3）或者非制冷型焦平面探测器（3'）；入射的中、长红外波段通过谐衍射透镜（1）分光和会聚后，经孔径光阑（2），分别成像在制冷型焦平面探测器（3）或者非制冷型焦平面探测器（3'）。

2、根据权利要求1所述的谐衍射红外双波段超光谱成像系统，其特征在于所述工作波段为：中红外波段是 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ ，长红外波段是 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 。

3、根据权利要求1所述的谐衍射红外双波段超光谱成像系统，其特征在于所述的谐衍射透镜（1）后表面上加工成谐衍射面，满足 $p\lambda_o=m\lambda$ 的谐振条件，设定谐衍射透镜（1）和孔径光阑（2）之间的距离、谐衍射透镜的面型参数 A_1 、 A_2 、 A_3 为变量，并对系统进行优化，使系统的单色像差达到最佳分配。

谐衍射红外双波段超光谱成像系统

技术领域：

本发明属于光学成像系统，涉及到一种军事侦察系统信息准确度的提高，特别是涉及到基于 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ 和 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 双波段折射/谐衍射混合超光谱成像方式来增加侦察系统的信息量，提高目标探测、识别的准确度。

背景技术：

现代侦查要求全天候、高分辨率、实时传输的侦察系统。而单一波段红外探测系统获取的信息弱、准确度低，已不能满足现代军事探测的要求。红外超光谱侦察仪器能够在波长相邻、连续采样的窄带光谱波段上获得数十至数百个通道光谱图像，利用这种高光谱分辨率的超光谱图像数据，可以根据地球表面众多物体的光谱特征精确地识别目标，还能做到对地面物质的理化、生物性能诊断和成分分析等，因此，它具有广泛的应用前景和其他技术手段无法比拟的优势。

在过去的十几年里，欧美等国先后投入了大量人力和物力对超光谱成像光谱仪进行研究，已发展了多种色散型、计算层析型和干涉傅里叶变换类型的超光谱成像技术，其中有一些已在实际系统中得到应用。Lyons 提出一种新颖结构，利用衍射光学透镜独特的色散特性设计出用于可见或红外光谱范围的成像光谱仪。在这里，衍射透镜既是分光元件又是成像元件，这种光谱仪只能探测一个波段的信号。1995年Sweeney, Sommargren, Faklis和Morris 等人，分别提出了谐衍射透镜(HDE)的概念，它可以在一系列分离波长处获

得相同的光焦度，可用在多光谱、宽视场及大数值孔径的光学成像系统中。

2005年，美国陆军试验室应用制冷型光子探测阵列建立了中波红外（ $3\sim 5\mu m$ ）和长波红外（ $8\sim 14\mu m$ ）波段的双波段超光谱成像仪。但是，目前国内还没生产长波制冷型探测的能力，而且难于从国外采购。

发明内容：

本发明的目的是针对背景技术中存在的问题，以及国内探测器发展的现状，发明一种 $3.2\sim 4.8\mu m$ 和 $8\sim 12\mu m$ 双波段折射/谐衍射混合超光谱成像系统，中波 $3.2\sim 4.8\mu m$ 采用制冷型探测器阵列，长波 $8\sim 12\mu m$ 采用非制冷型探测器阵列，来实现中、长波红外双波段超光谱成像。基于这种需要，本发明设计了一种 $3.2\sim 4.8\mu m$ 和 $8\sim 12\mu m$ 双波段折射/谐衍射混合超光谱成像仪，可在中、长波红外双波段获得数百个光谱图像。

为了满足现代军事的需求，本发明采用如图 1，2，3 所示的技术方案，包括谐衍射透镜，孔径光阑，制冷型焦平面探测器和非制冷型焦平面探测器。谐衍射透镜的材料为锗。

图 1 中波红外双波段超光谱成像系统中谐衍射透镜，孔径光阑，制冷型焦平面探测器在同一光轴上顺序放置。图 2 长波红外双波段超光谱成像系统中谐衍射透镜，孔径光阑，非制冷型焦平面探测器在同一光轴上顺序放置。

各部件的位置及连接关系：在同一光轴上沿入射光传播方向依次放置谐衍射透镜，孔径光阑，制冷型焦平面探测器或者非制冷型焦平面探测器；本发明的工作目标发出的或者反射的 $3.2\sim 4.8\mu m$ 和 $8\sim 12\mu m$ 波段的中、长波红外辐射，通过谐衍射透镜分光和聚焦，将 $3.2\sim 4.8\mu m$ 和 $8\sim 12\mu m$ 波段的中、长波红外的各个离散波长分别成像在制冷型焦平面探测器和非制冷型焦平

面探测器，工作原理示意图如图 3 所示。

本发明的优点：在满足当前国内衍射透镜面形加工的技术要求的前提下，通过优化设计谐衍射面的面形参数和谐衍射透镜 1 和孔径光阑 2 之间的距离，使系统的单色像差达到最佳分配，该设计完全能够满足光学系统成像要求。使双波段折射/谐衍射混合超光谱成像系统，满足现代军事侦查要求全天候、高分辨率、实时传输、大信息量、高准确度的要求。

附图说明：

图 1 是本发明的 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ 制冷型折射/谐衍射混合超光谱成像系统结构示意图。

图 2 是本发明的 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 非制冷型折射/谐衍射混合超光谱成像系统结构示意图。

图 3 是本发明的中、长波红外两个谐振波段同时显示的光学系统的光路图。

图 4 是本发明的谐衍射面的线频率 (a) 和相位 (b) 随元件径向坐标的变化曲线。

图 5 给出实施例光学系统的调制传递函数曲线图，(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 分别为中波 $4.8\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ 、 $3.2\mu\text{m}$ 和长波 $12\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ 处的调制传递函数曲线图。

具体实施方式

以下就结合实施例对本发明作进一步详细说明。

参照图 1, 2, 3，一种 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ 和 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 双波段折射/谐衍射混合超光谱成像系统，本发明根据现代军事侦查要求全天候、高分辨率、实时传输、

大信息量、高准确度的要求，选取 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ 和 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 中、长红外波段作为光学系统的工作波段，通过谐衍射透镜 1 的分光和聚光特性将数百个工作波长的信息成像在制冷型焦平面探测器 3 和非制冷型焦平面探测器 3'。最后，通过图像重构的方法将各个波长图像信息融合到目标图像中。

本发明光学系统的具体结构如下：在同一光轴上沿入射光传播方向依次设置谐衍射透镜 1，孔径光阑 2，制冷型焦平面探测器 3 或者非制冷型焦平面探测器 3'；入射的 $3.2\text{--}4.8\mu\text{m}$ 和 $8\text{--}12\mu\text{m}$ 中、长红外波段通过谐衍射透镜 1 分光和会聚后，经孔径光阑 2，分别成像在制冷型焦平面探测器 3 或者非制冷型焦平面探测器 3'。

所述的谐衍射透镜 1 的材料为锗。通过调节谐衍射透镜 1 和制冷型焦平面探测器 3 或者非制冷型焦平面探测器 3' 之间的距离来获得两个工作段内各个波长的目标图像的信息。通过优化设计谐衍射面的面形参数和谐衍射透镜 1 和孔径光阑 2 之间的距离，使系统的单色像差达到最佳分配。

所述的谐衍射透镜 1 后表面上加工成谐衍射面，选择设计波长 λ_o 为 $10\mu\text{m}$ ，相位匹配因子 $p = 2$ 。则其谐振波长 $4\mu\text{m}$ 的衍射级次为 $m = 5$ ，满足 $p\lambda_o = m\lambda$ 的谐振条件。图 3 是中、长波红外两个谐振波段同时显示的光路图，虚线框 c_1 ， c_2 ， c_3 的位置分别是 $\lambda_1 = 12\mu\text{m}$ ， $4.8\mu\text{m}$ ，中心谐振波长 $\lambda_0 = 10\mu\text{m}$ ， $4\mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 8\mu\text{m}$ ， $3.2\mu\text{m}$ 在制冷型焦平面探测器 3 或者非制冷型焦平面探测器 3' 的成像位置。

本发明的系统中，在设计波长 $10\mu\text{m}$ 处，孔径光阑 1 口径为 14mm ；系统的 F 数为 1.6，满足非制冷探测器信噪比对 F 数的要求；全视场角为 12° 。

通常设旋转对称二元光学衍射面的相位函数表示形式为：

$$\phi = m(A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6 + \dots) = m \sum A_i r^{2i}$$

式中， m 为衍射级次， A_i 为二次相位系数，决定该面的傍轴光焦度， A_2 、 A_3 等为非球面相位系数，用于校正系统的单色像差。

则二元光学衍射面的光焦度为：

$$\Phi_\lambda = -\frac{m\lambda}{\pi} A_i$$

因此，当衍射面的面形参数确定 A_i 后，就可以计算不同波长 λ 的光焦度，从而可以分别确定中、长波段像平面的变化范围 Δ_1 和 Δ_2 ，如图 3 所示。

$$\Delta_1 = \frac{1}{\Phi_{3.2\mu\text{m}}} - \frac{1}{\Phi_{4.8\mu\text{m}}}$$

$$\Delta_2 = \frac{1}{\Phi_{8\mu\text{m}}} - \frac{1}{\Phi_{12\mu\text{m}}}$$

为很好的校正各种单色像差，在光学系统设计过程中，充分考虑到衍射面的像差特性与孔径光阑位置的关系。以 δy 表示主光线在 DOE 上的投射高，并令 $\varepsilon = \delta y / y$ ，则衍射面的初级像差与孔径光阑位置的关系可表示为：

球差系数

$$S_{\text{I}}^* = \frac{y^4 \Phi^3}{4} (1 + B^2 + 3C^2) - 8\lambda A_2 y^4 \quad (1)$$

彗差系数

$$S_{\text{II}}^* = -y^2 \Phi^2 H C + \varepsilon \frac{y^4 \Phi^3}{4} (1 + B^2 + 3C^2) - 8\lambda A_2 y^4 \quad (2)$$

像散系数

$$S_{\text{III}}^* = H^2 \Phi - 2\varepsilon (y^2 \Phi^2 H C + \varepsilon) + \varepsilon^2 \left[\frac{y^4 \Phi^3}{4} (1 + B^2 + 3C^2) - 8\lambda A_2 y^4 \right] \quad (3)$$

匹兹万场曲系数

$$S_{\text{IV}}^* = 0 \quad (4)$$

畸变系数

$$S_v^* = 3\varepsilon H^2 \Phi - 3\varepsilon^2 y^2 \Phi^2 HC + \varepsilon^2 \frac{y^4 \Phi^3}{4} (1 + B^2 + 3C^2) - 8\lambda A_2 y^4 \quad (5)$$

由以上衍射面的像差公式可知，谐衍射元件可以通过调整谐衍射元件的位相系数 A_2 ，可以使各种单色像差得到很好的平衡。

图 4 给出了双波段折射/谐衍射混合超光谱成像系统的谐衍射面的线频率 (a) 和相位 (b) 随元件径向坐标的变化曲线。由图可知，谐衍射面具有大约 162 个环带周期，最高频率约为 8.8 环/mm，完全满足当前国内衍射透镜面形加工的技术要求。

图 5 给出光学系统分别在中波 $4.8 \mu m$ 、 $4 \mu m$ 、 $3.2 \mu m$ 和长波 $12 \mu m$ 、 $10 \mu m$ 、 $8 \mu m$ 的调制传递函数曲线图，分别对应图中 (a)、(b)、(c) 和 (d)、(e)、(f)，由调制传递函数曲线图可知，该设计完全能够满足光学系统成像要求。

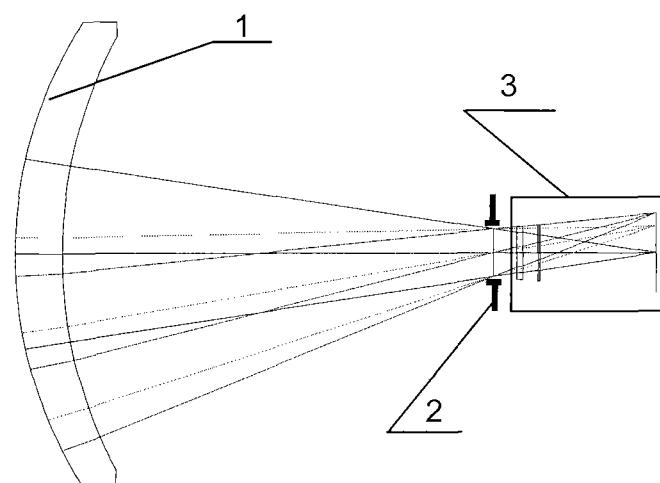


图 1

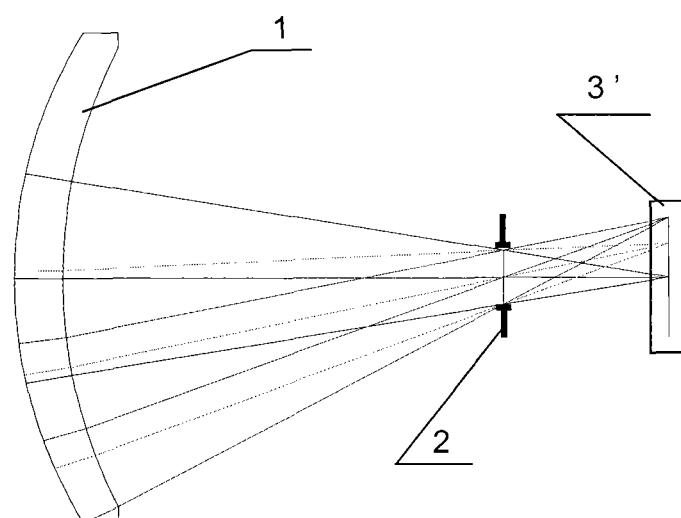


图 2

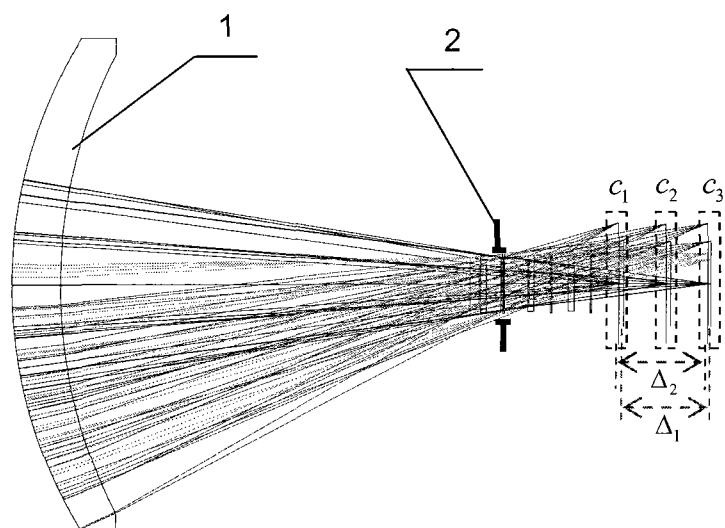


图 3

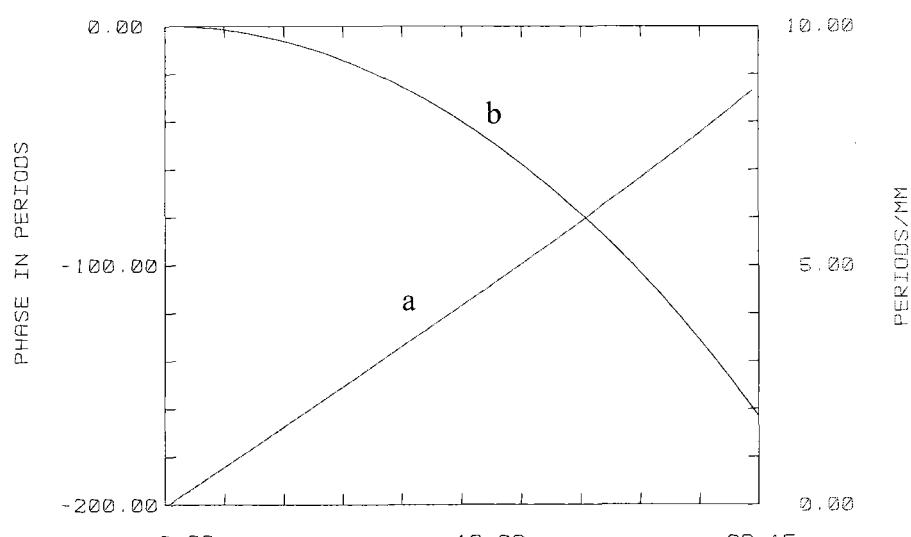


图 4

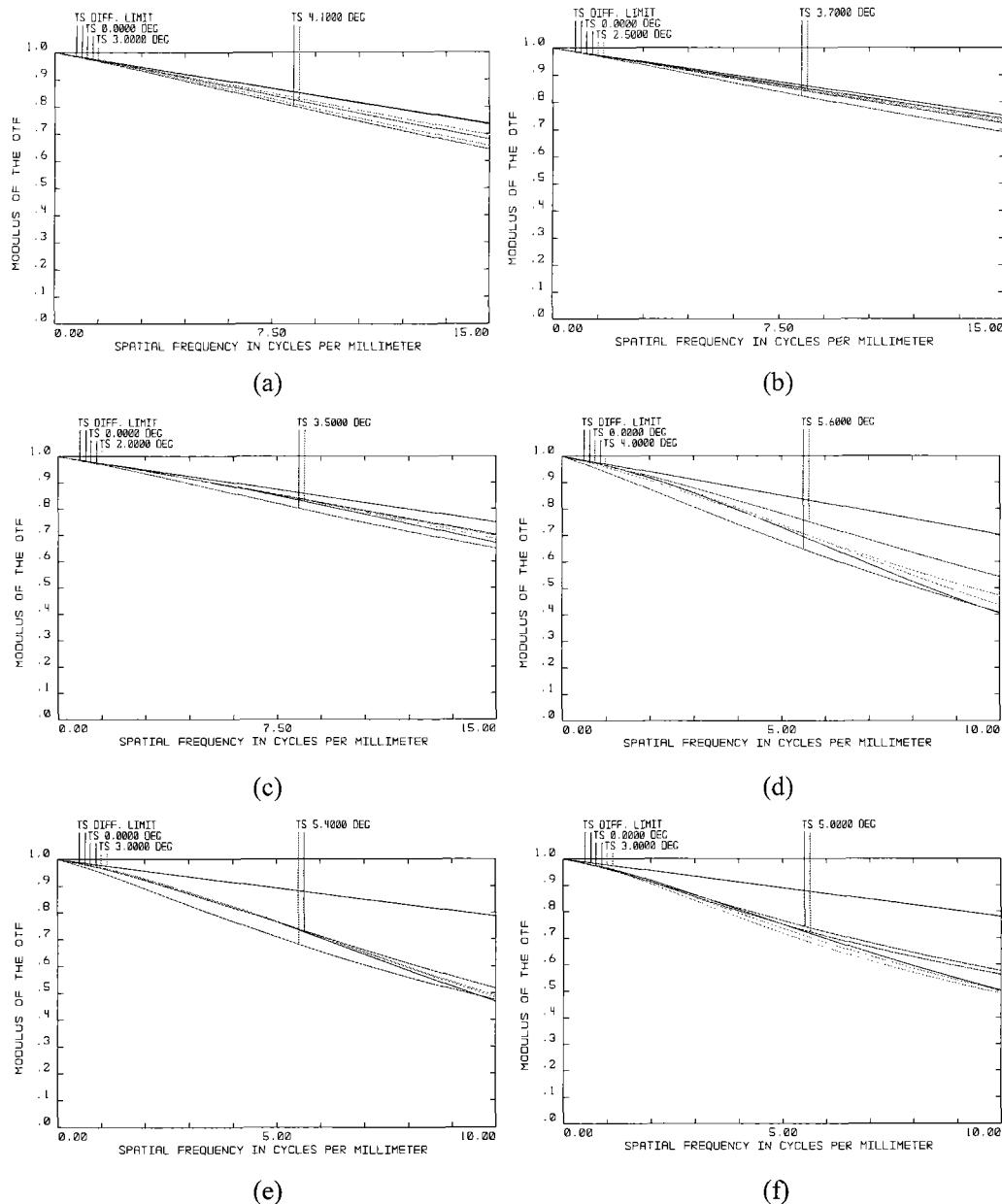


图 5