



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114791663 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 26

(21) 申请号 202210439592.1

(22) 申请日 2022.04.25

(71) 申请人 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

(72) 发明人 胡中文 汤丽峰 季杭馨 李世林

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207
专利代理师 李湘群

(51) Int. Cl.

G02B 13/02 (2006.01)

G02B 3/12 (2006.01)

G02B 1/00 (2006.01)

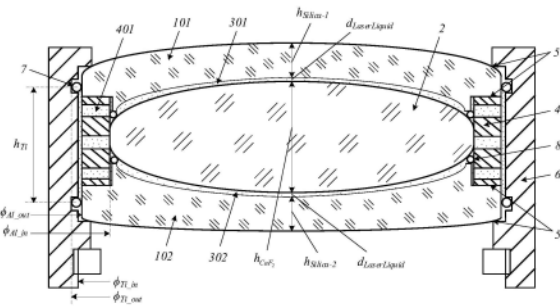
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头

(57) 摘要

本发明公开了一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,包括熔融石英透镜和氟化钙透镜,熔融石英透镜和氟化钙透镜之间填充有折射率匹配液层,折射率匹配液层的前后表面分别与熔融石英透镜和氟化钙透镜直接接触,熔融石英透镜、折射率匹配液层和氟化钙透镜共同组成透镜三联体结构,当折射率匹配液前后表面的曲率相同时,折射率匹配液层用于消除透镜-空气分界面的反射损失,当折射率匹配液前后表面的曲率不同时,折射率匹配液层相当于一个液体透镜。利用本发明的消热稳像镜头,可以实现在宽温度范围变化下,相机的成像像质保持稳定,可以解决天文光学望远镜在台址温差大的环境下进行观测时所导致的光谱仪谱线漂移的问题。



1. 一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,包括熔融石英透镜和氟化钙透镜,所述熔融石英透镜和氟化钙透镜之间填充有折射率匹配液,形成折射率匹配液层,所述折射率匹配液层的前后表面分别与熔融石英透镜和氟化钙透镜直接接触,所述熔融石英透镜、折射率匹配液层和氟化钙透镜共同组成透镜三联体结构,当折射率匹配液前后表面的曲率相同时,所述折射率匹配液层用于消除透镜-空气分界面的反射损失,当折射率匹配液前后表面的曲率不同时,所述折射率匹配液层相当于一个液体透镜。

2. 根据权利要求1所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述折射率匹配液为Cargille LL5610型激光液。

3. 根据权利要求1或2所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述熔融石英透镜包括第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜,所述折射率匹配液层包括第一折射率匹配液层和第二折射率匹配液层,所述氟化钙透镜夹设于所述第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜之间,所述第一熔融石英透镜与氟化钙透镜之间填充有所述第一折射率匹配液层,所述第二熔融石英透镜与氟化钙透镜之间填充有所述第二折射率匹配液层。

4. 根据权利要求3所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜通过内圆柱环间隔开,所述透镜三联体结构的外侧通过外圆柱环夹紧限位,所述熔融石英透镜与内圆柱环的接触位置以及所述熔融石英透镜与外圆柱环的接触位置均设置有隔离贴片,所述内圆柱环通过隔离贴片与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力,所述外圆柱环通过隔离贴片与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力。

5. 根据权利要求4所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述内圆柱环为铝圆柱环,所述外圆柱环为钛圆柱环,所述隔离贴片为聚酰亚胺贴片。

6. 根据权利要求4所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述外圆柱环与熔融石英透镜之间设置有外密封圈,所述氟化钙透镜与内圆柱环的交界处设置有内密封圈,所述内圆柱环的侧壁上设置有用於折射率匹配液流动的通孔,所述外密封圈用于密封折射率匹配液并对熔融石英透镜提供径向力,所述氟化钙透镜由内圆柱环和内密封圈进行约束。

7. 根据权利要求6所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述外密封圈为Parker 2-361型O型密封圈,所述内密封圈为Parker 2-159型O型密封圈。

8. 根据权利要求1所述的一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,其特征在于,所述消热稳像镜头的体积消热满足:

$$\Delta V_{Ti} = \Delta V_{Al} + \Delta V_{CaF_2} + \Delta V_{Silica} + \Delta V_{O-ring}$$

其中, ΔV_{Ti} , ΔV_{Al} , ΔV_{CaF_2} , ΔV_{Silica} 和 ΔV_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的体积变化,代入热膨胀系数,则得到:

$$3\alpha_{Ti} \cdot V_{Ti} = 3\alpha_{Al} \cdot V_{Al} + 3\alpha_{CaF_2} \cdot V_{CaF_2} + 3\alpha_{Silica} \cdot V_{Silica} + \beta_{O-ring} \cdot V_{O-ring}$$

其中, V_{Ti} , V_{Al} , V_{CaF_2} , V_{Silica} 和 V_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的

体积, α_{Ti} , α_{Al} , α_{CaF_2} 和 α_{Silica} 分别为钛、铝、氟化钙和熔融石英对应的线热膨胀系数, $\beta_{\text{0-ring}}$ 为密封圈的体积热膨胀系数。

一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头

技术领域

[0001] 本发明属于天文光学仪器技术领域，具体涉及一种基于液体透镜的天文光学望远镜用成像光谱仪相机的消热稳像镜头。

背景技术

[0002] 天文学是由望远镜推动的科学，望远镜对天文学的发展有很重要的促进作用。天文望远镜是观测天体，捕捉天体信息的主要工具，其后端有很多天文仪器，用于处理观测信号。光谱仪作为光学望远镜主要的终端仪器之一，将望远镜前端收集的复色光分解为光谱线，并成像在探测器像面上。典型的天文光谱仪系统通常包括入射狭缝、准直元件、色散元件、聚焦元件和探测器。其中，聚焦元件为相机成像系统，分为透射式和反射式，透射式相机包含一系列的透镜，反射式相机则由不同的反射镜组成。

[0003] 随着新一代更大口径望远镜的设计和建造，国际上光学波段的中大型天文观测光谱仪数量不断增加，新旧仪器之间更新换代的时间迅速缩短，对光学成像的精细度要求越来越高。光学望远镜通常都安装在高海拔地区，大气稀薄，视宁度好，晴夜数多，适合观测。但高海拔天文台址环境温差大，温度变化快，光谱仪相机内部的透镜因此会产生热效应，发生热膨胀，导致成像漂移，直接影响光谱仪成像效果，因此消热稳像的相机镜头是有必要的。

[0004] 对于透射式相机系统，目前可以有效解决光谱仪成像随温度漂移的方法主要有两种。一是通过多组胶合透镜的正负折射率补偿来保持焦点位置，这种相机需要的透镜数量多，镜筒长；二是给光谱仪整体加装温控系统，通过恒温控制减小光谱线漂移，但是温控系统结构复杂，会使得光谱仪整体结构占据望远镜更多本就有限的后端空间，因此采用该方法的望远镜较少，也不适用于旧仪器的改造。

发明内容

[0005] 为克服上述现有技术所述的至少一种缺陷，本发明提供一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头。

[0006] 为实现上述目的，本发明提供如下技术方案：

[0007] 一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头，包括熔融石英透镜和氟化钙透镜，所述熔融石英透镜和氟化钙透镜之间填充有折射率匹配液，形成折射率匹配液层，所述折射率匹配液层的前后表面分别与熔融石英透镜和氟化钙透镜直接接触，所述熔融石英透镜、折射率匹配液层和氟化钙透镜共同组成透镜三联体结构，当折射率匹配液前后表面的曲率相同时，所述折射率匹配液层用于消除透镜-空气分界面的反射损失，当折射率匹配液前后表面的曲率不同时，所述折射率匹配液层相当于一个液体透镜。

[0008] 进一步的，所述折射率匹配液为Cargille LL5610型激光液。

[0009] 进一步的，所述熔融石英透镜包括第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜，所述折射率匹配液层包括第一折射率匹配液层和第二折射率匹配液层，所述氟化钙透镜夹设于

所述第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜之间,所述第一熔融石英透镜与氟化钙透镜之间填充有所述第一折射率匹配液层,所述第二熔融石英透镜与氟化钙透镜之间填充有所述第二折射率匹配液层。

[0010] 进一步的,所述第一熔融石英透镜和第二熔融石英透镜通过内圆柱环间隔开,所述透镜三联体结构的外侧通过外圆柱环夹紧限位,所述熔融石英透镜与内圆柱环的接触位置以及所述熔融石英透镜与外圆柱环的接触位置均设置有隔离贴片,所述内圆柱环通过隔离贴片与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力,所述外圆柱环通过隔离贴片与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力。

[0011] 进一步的,所述内圆柱环为铝圆柱环,所述外圆柱环为钛圆柱环,所述隔离贴片为聚酰亚胺贴片。

[0012] 进一步的,所述外圆柱环与熔融石英透镜之间设置有外密封圈,所述氟化钙透镜与内圆柱环的交界处设置有内密封圈,所述内圆柱环的侧壁上设置有用折射率匹配液流动的通孔,所述外密封圈用于密封折射率匹配液并对熔融石英透镜提供径向力,所述氟化钙透镜由内圆柱环和内密封圈进行约束。

[0013] 进一步的,所述外密封圈为Parker 2-361型O型密封圈,所述内密封圈为Parker 2-159型O型密封圈。

[0014] 进一步的,所述消热稳像镜头的体积消热满足:

$$[0015] \quad \Delta V_{Ti} = \Delta V_{Al} + \Delta V_{CaF_2} + \Delta V_{Silica} + \Delta V_{O-ring}$$

[0016] 其中, ΔV_{Ti} , ΔV_{Al} , ΔV_{CaF_2} , ΔV_{Silica} 和 ΔV_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的体积变化,代入热膨胀系数,则得到:

$$[0017] \quad 3\alpha_{Ti} \cdot V_{Ti} = 3\alpha_{Al} \cdot V_{Al} + 3\alpha_{CaF_2} \cdot V_{CaF_2} + 3\alpha_{Silica} \cdot V_{Silica} + \beta_{O-ring} \cdot V_{O-ring}$$

[0018] 其中, V_{Ti} , V_{Al} , V_{CaF_2} , V_{Silica} 和 V_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的体积, α_{Ti} , α_{Al} , α_{CaF_2} 和 α_{Silica} 分别为钛、铝、氟化钙和熔融石英对应的线热膨胀系数, β_{O-ring} 为密封圈的体积热膨胀系数。

[0019] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0020] 利用本发明基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头,可以实现在宽温度范围变化下,相机的成像像质保持稳定,可以解决天文光学望远镜在台址温差大的环境下进行观测时所导致的光谱仪谱线漂移的问题。

附图说明

[0021] 图1为消热稳像镜头的结构示意图;

[0022] 图2为具有消热稳像镜头的光谱仪相机光学系统的光路示意图;

[0023] 图3为本消热稳像镜头中折射率匹配液的折射率随温度变化示意图;

[0024] 图4为具有消热稳像镜头的光谱仪相机在不同温度下成像的像质示意图;

[0025] 图中标记:1、消热稳像镜头;101、第一熔融石英透镜;102、第二熔融石英透镜;2、氟化钙透镜;301、第一折射率匹配液层;302、第二折射率匹配液层;4、内圆柱环;401、通孔;5、隔离贴片;6、外圆柱环;7、外密封圈;8、内密封圈;9、第三熔融石英透镜;10、第四熔融石英透镜;11、CCD。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0027] 本实施例提供一种可实现在宽温度范围变化下相机的成像像质保持稳定,可以解决天文光学望远镜在台址温差大的环境下进行观测时所导致的光谱仪谱线漂移的问题的消热稳像镜头。在光学上,熔融石英(Fused Silica)的折射率随温度升高而增加,氟化钙(CaF_2)的折射率随温度升高而降低,但二者的折射率随温度变化很慢,而折射率匹配液(Refractive Index Matching Fluid,简称RIMF)的折射率随温度变化相对较快。通过光学设计仿真优化各个透镜的曲率和厚度,熔融石英和氟化钙透镜因热效应引起的位相变化可以由折射率匹配液进行补偿,实现光学上的消热。在机械上,镜头内部的熔融石英、氟化钙、折射率匹配液和透镜隔层材料的热膨胀要和镜头外部镜矢材料的热膨胀相匹配,实现机械结构上的消热。通过光学和机械上的消热,最终达到光谱仪相机稳像的目的。

[0028] 本实施例一种基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头包括熔融石英透镜和氟化钙透镜,并且在熔融石英透镜和氟化钙透镜之间填充有一层薄薄的折射率匹配液,形成一层折射率匹配液层,折射率匹配液层的前后表面分别与熔融石英透镜和氟化钙透镜直接接触,则折射率匹配液前后表面的形状和曲率与接触的透镜面一致,熔融石英透镜、折射率匹配液层和氟化钙透镜共同组成透镜三联体结构。当折射率匹配液前后表面的曲率相同时,主要是起到消除透镜-空气分界面的反射损失的作用;当折射率匹配液前后表面的曲率不同时,折射率匹配液层可将其看作一个透镜,因此称之为液体透镜。具体的,如图1所示,本实施例中的熔融石英透镜设置有2块,即第一熔融石英透镜101和第二熔融石英透镜102,氟化钙透镜2夹设于第一熔融石英透镜101和第二熔融石英透镜102之间,相应地,整个透镜组中共有两层折射率匹配液,即第一熔融石英透镜101与氟化钙透镜2之间填充有第一折射率匹配液层301,第二熔融石英透镜102与氟化钙透镜2之间填充有第二折射率匹配液层302。折射率匹配液常用于多个光学器件之间,或用于单个光学器件的一个或多个外表面以改善与空气接触的界面的光学性能,折射率匹配液的折射率要和光学器件本身的折射率接近,以达到最佳的改善光学性能的效果,折射率匹配液层的厚度通常为毫米至微米级,本实施例优选Cargille LL5610型激光液(Laser Liquid)作为折射率匹配液;本实施例优选第一熔融石英透镜101的中心厚度 $h_{\text{Silica-1}}$ 为16mm;第二熔融石英透镜102的中心厚度 $h_{\text{Silica-2}}$ 为18mm;氟化钙透镜的中心厚度 h_{CaF_2} 为46mm;每层激光液的中心厚度 $d_{\text{LaserLiquid}}$ 为0.065mm。

[0029] 为了使熔融石英透镜、折射率匹配液层和氟化钙透镜高效地组成上述透镜三联体结构,本实施例还进一步设置有内圆柱环4和外圆柱环6。具体如图1所示,第一熔融石英透镜101和第二熔融石英透镜102通过内圆柱环4间隔开,透镜三联体结构的外侧通过外圆柱环6夹紧限位,熔融石英透镜与内圆柱环4的接触位置以及熔融石英透镜与外圆柱环6的接触位置均设置有隔离贴片5,内圆柱环4通过隔离贴片5与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力,外圆柱环6通过隔离贴片5与熔融石英透镜间接接触并施加轴向力。本实施例优选镜头内部镜矢材料为铝(Al)圆柱环作为内圆柱环4,优选聚酰亚胺(Polyimide,简称PI)贴片作为隔离贴片5,优选镜头外部镜矢材料为钛(Ti)圆柱环作为外圆柱环6。本实施例优选铝圆柱环的内径 $\phi_{\text{Al_in}}$ 为136mm,外径 $\phi_{\text{Al_out}}$ 为155mm,钛圆柱环的内径 $\phi_{\text{Ti_in}}$ 为155mm,外径 $\phi_{\text{Ti_out}}$ 为163.7mm。

[0030] 本实施例采用外密封圈7和内密封圈8对折射率匹配液进行密封。具体如图1所示, 外密封圈7设置于外圆柱环6与熔融石英透镜之间, 外密封圈7用于密封折射率匹配液并对熔融石英透镜提供径向力, 内密封圈8设置于氟化钙透镜2与内圆柱环4的交界处, 氟化钙透镜2由内圆柱环4和内密封圈8进行约束, 内圆柱环4的侧壁上设置有用于透镜热胀冷缩时折射率匹配液流动的通孔401。本实施例优选Parker 2-361型O型密封圈作为外密封圈7, 其横截面直径为5.33mm, 优选Parker 2-159型O型密封圈作为内密封圈8, 其横截面直径为2.62mm。

[0031] 为了实现消热稳像镜头在光学上的消热, 用Zemax软件仿真本实施例消热稳像镜头的相机光学系统, 包括上述的基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头1、第三熔融石英透镜9、第四熔融石英透镜10、CCD11, 其光路如图2所示。直径为100mm的平行光束入射到消热稳像镜头1, 经过第三熔融石英透镜9和第四熔融石英透镜10, 成像在CCD11靶面上。消热稳像镜头两侧熔融石英的折射率随温度升高而增加, 氟化钙的折射率随温度升高而降低, 但二者的折射率随温度变化很慢, 而激光液的折射率随温度变化则相对较快, Cargille LL5610型激光液的折射率随温度的变化如图3所示。通过优化各个透镜的曲率和厚度, 熔融石英和氟化钙透镜因热效应引起的位相变化由激光液进行补偿, 在 $-10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 大区间工作温度范围内, 相机成像保持优良的像质, CCD11靶面上各个视场的成像光斑半径均方根值如图4所示。经过优化后, 液体透镜各元件的具体参数如表1所示, 钛圆柱环的高度 h_{Ti} 为所求, 通过体积消热计算得到。

[0032] 表1液体透镜各元件具体参数, 单位:mm。

元件	直径	中心厚度/高度	上表面曲率	下表面曲率	热膨胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}$
第一熔融石英透镜	144	16	271.1343	118.7000	0.51×10^{-6}
氟化钙透镜	136	46	115.2200	-163.5800	18.9×10^{-6}
第二熔融石英透镜	144	18	-168.4194	-2215.1340	0.51×10^{-6}
铝圆柱环	内径 136 外径 155	35	-	-	23.2×10^{-6}
钛圆柱环	内径 155 外径 163.7	h_{Ti}	-	-	10×10^{-6}
上层折射率匹配液 CargilleLL5610	136	0.065	118.7000	115.2200	9×10^{-4} (体膨胀 β)
下层折射率匹配液 CargilleLL5610	136	0.065	-163.5800	-168.4194	9×10^{-4} (体膨胀 β)

内密封圈 Parker 2-159	内径 130 横截面 2.62	-	-	-	1×10^{-4} (体膨胀 β)
外密封圈 Parker 2-361	内径 155 横截面 5.33	-	-	-	1×10^{-4} (体膨胀 β)

[0035] 为了实现液体透镜相机在机械结构上的消热, 镜头内部的石英、氟化钙、隔层材料铝、激光液和O型圈的总体积热膨胀要和外部镜矢材料钛的热膨胀相匹配。在计算体积消热

时,镜头内部隔层材料铝的体积为内圆柱环4的实际体积,而计算外部镜矢材料钛的体积时,要把钛当做圆柱体而非外圆柱环6的实际体积。本实施例中的激光液可以通过铝圆柱环壁上的通孔在镜头内部发生热膨胀时流动,因此激光液的体积热膨胀不会作用于外部镜矢上。则消热稳像镜头的体积消热需满足:

$$[0036] \quad \Delta V_{Ti} = \Delta V_{Al} + \Delta V_{CaF_2} + \Delta V_{Silica} + \Delta V_{O-ring}$$

[0037] 其中, ΔV_{Ti} , ΔV_{Al} , ΔV_{CaF_2} , ΔV_{Silica} 和 ΔV_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的体积变化,代入热膨胀系数,则得到:

$$[0038] \quad 3\alpha_{Ti} \cdot V_{Ti} = 3\alpha_{Al} \cdot V_{Al} + 3\alpha_{CaF_2} \cdot V_{CaF_2} + 3\alpha_{Silica} \cdot V_{Silica} + \beta_{O-ring} \cdot V_{O-ring}$$

[0039] 其中, V_{Ti} , V_{Al} , V_{CaF_2} , V_{Silica} 和 V_{O-ring} 分别为钛、铝、氟化钙、熔融石英和全部密封圈对应的体积, α_{Ti} , α_{Al} , α_{CaF_2} 和 α_{Silica} 分别为钛、铝、氟化钙和熔融石英对应的线热膨胀系数, β_{O-ring} 为密封圈的体积热膨胀系数。

[0040] 根据表1中液体透镜各元件的具体参数,计算得到外部镜矢钛的高度为 $h_{Ti} = 57.2\text{mm}$ 。

[0041] 综上所述,本实施例基于液体透镜的天文光谱仪相机的消热稳像镜头通过折射率匹配液补偿透镜因温度引起的位相变化,实现光学上的消热。镜头内部元件的体积热膨胀和镜头外部镜矢的体积热膨胀相匹配,实现机械结构上的消热。通过光学和机械上的相机镜头无热化,可以满足在宽温度范围变化下,相机的成像像质保持稳定。

[0042] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

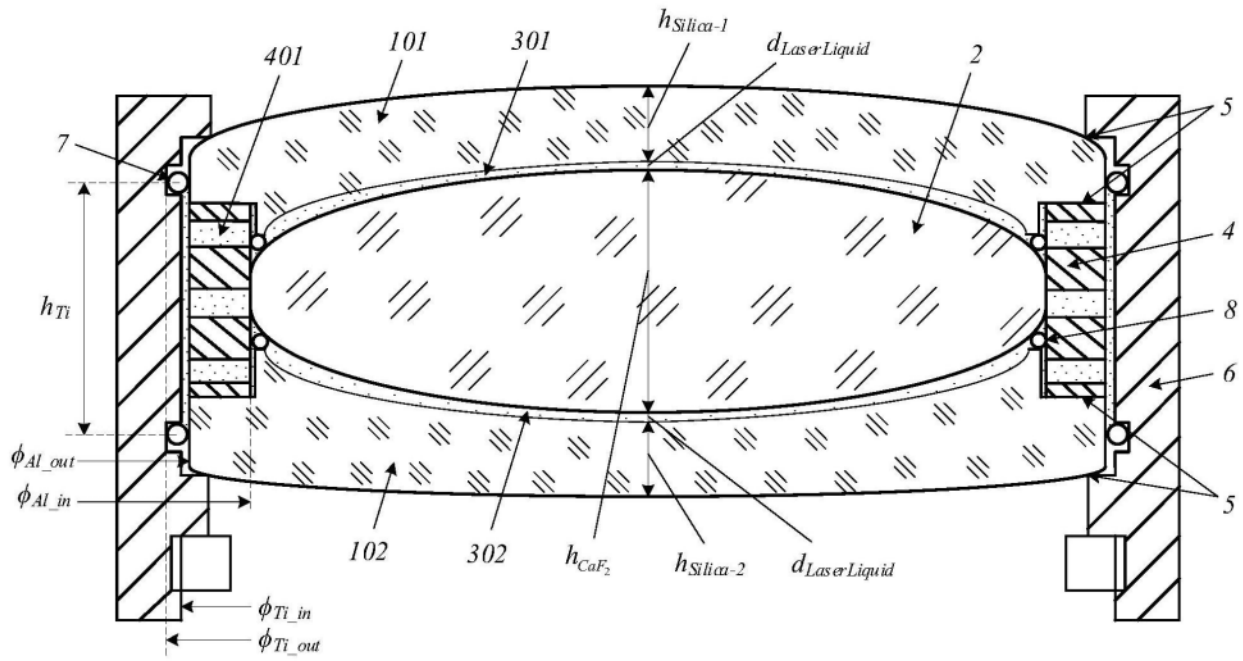


图1

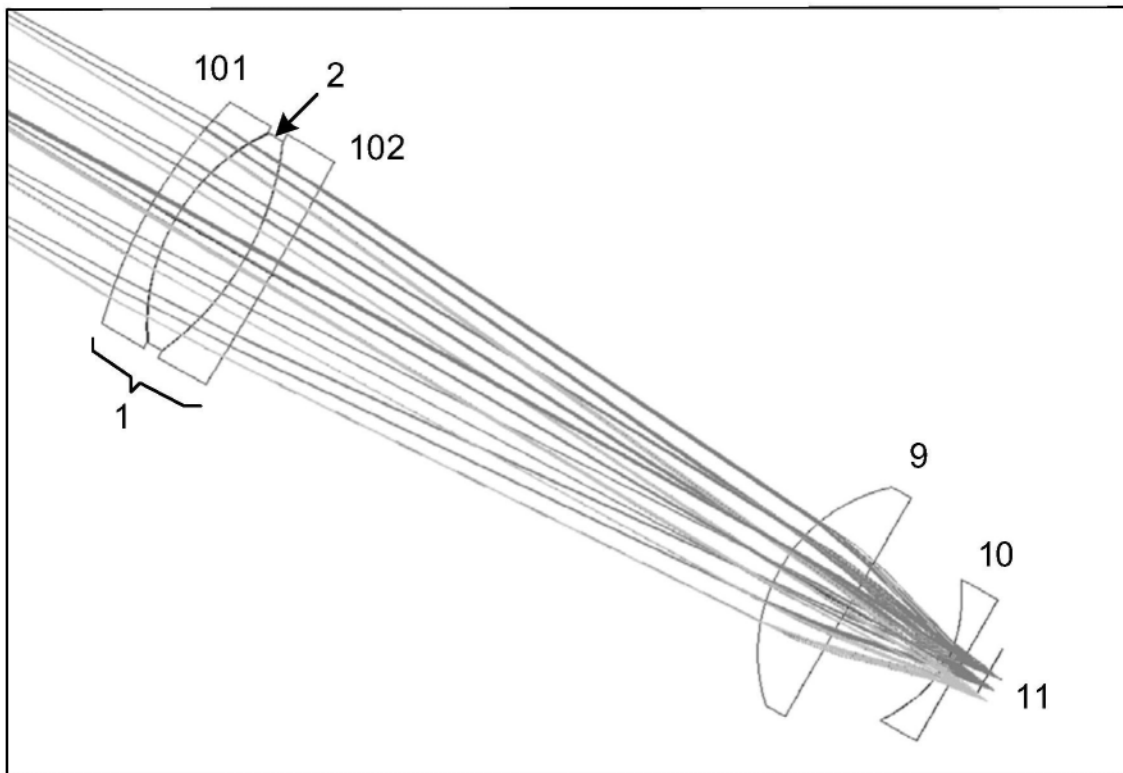


图2

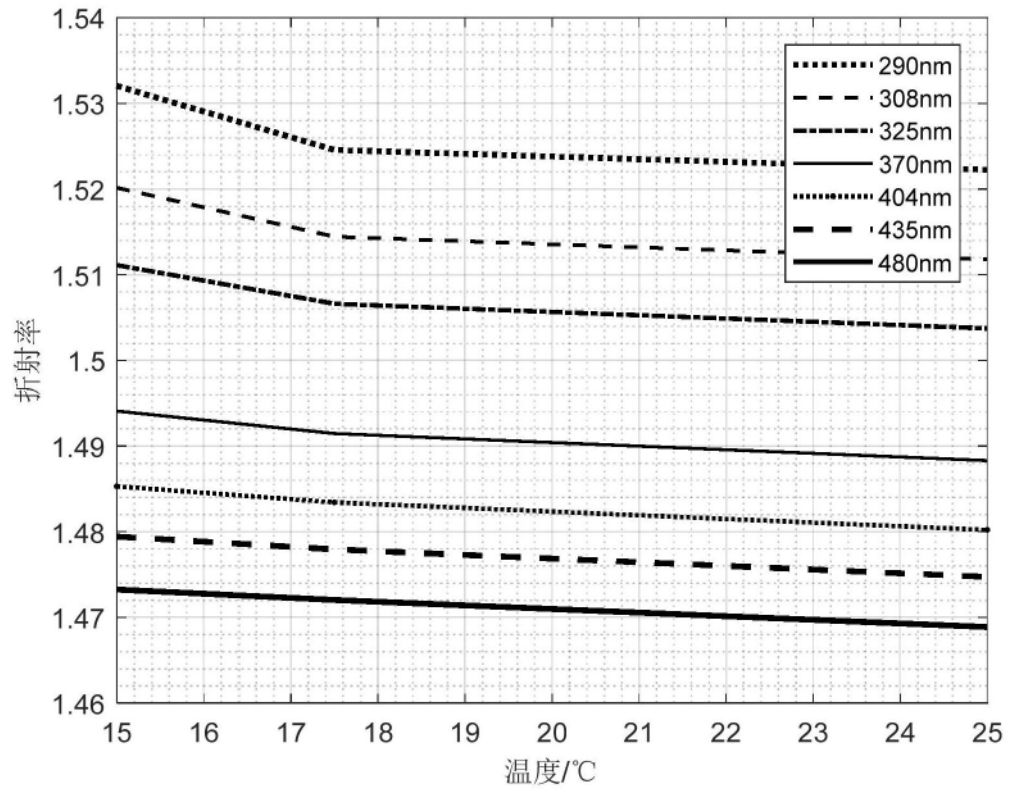


图3

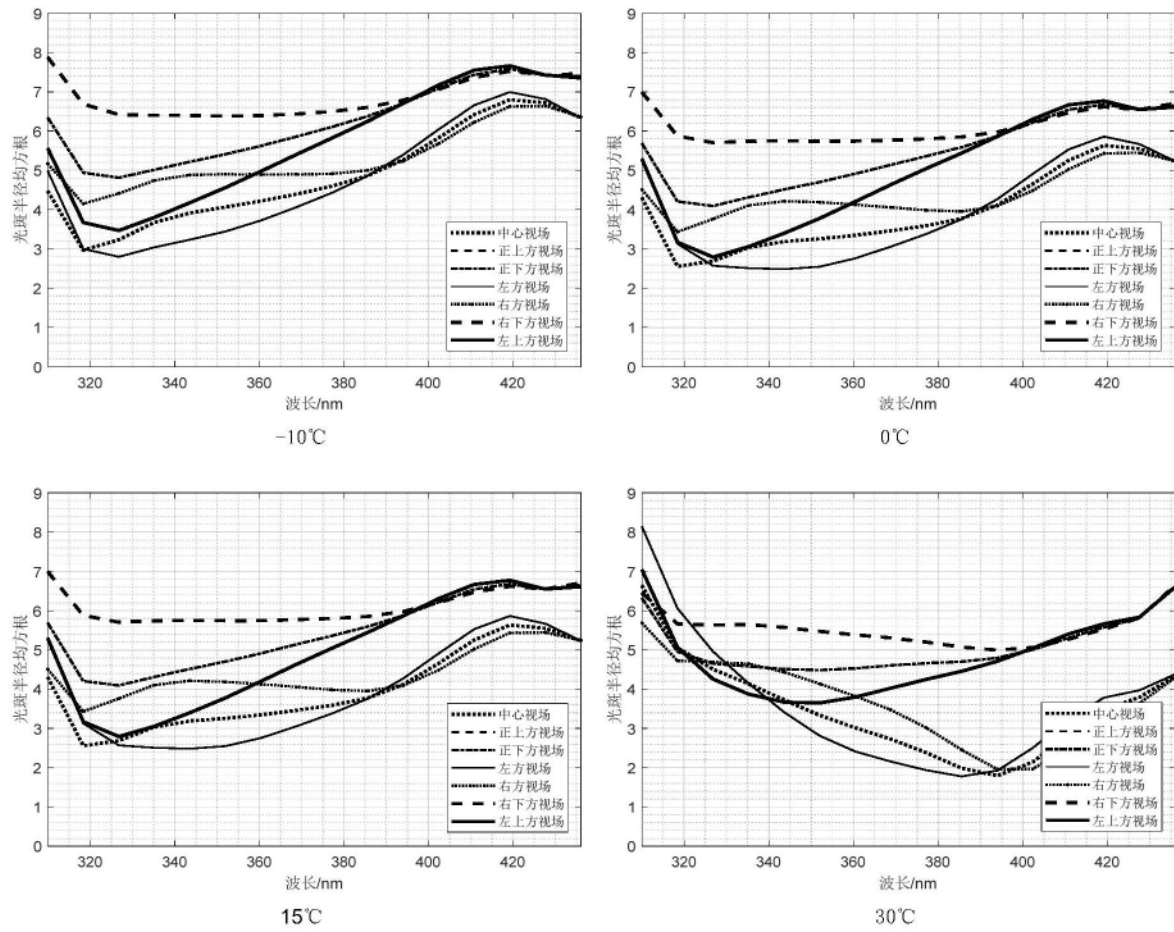


图4