

## 冷光学用多波段长波红外探测器杜瓦封装技术

陈俊林<sup>1,2</sup>, 王小坤<sup>1,2\*</sup>, 朱海勇<sup>1,2</sup>, 曾智江<sup>1,2</sup>, 李亚冉<sup>2</sup>, 罗少博<sup>1,2</sup>, 王溪<sup>1,2</sup>, 林春<sup>1,2</sup><sup>1</sup>中国科学院上海技术物理研究所传感技术国家重点实验室, 上海 200083;<sup>2</sup>中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083

**摘要** 针对拼接型多波段长波红外探测器组件在冷光学系统中的应用要求, 本文分析了低温光学用多波段长波红外探测器封装的难点。本团队通过研究 4 个 512×12 模块呈品字形拼接后与 4 个三波段集成滤光片的低温配准、组件在 200 K 低温光窗的支撑与隔热、探测器与制冷机耦合应力等封装技术, 提出了可以实现三波段集成滤光片与探测器背套对中误差在 10 μm 以下的配准方法以及红外探测器杜瓦组件柔性波纹外壳实现 101 mW 隔热的方案, 同时在杜瓦冷平台上设计了物理隔离耦合应力的多层热层结构, 解决了多波段长波红外探测器组件的低光串、低背景辐射、低功耗、冷平台高温度均匀性和探测器高可靠性等关键技术, 成功研制了低温光学用 12.5 μm 三波段长波 2000×12 元红外探测器制冷组件。一系列空间环境适应性试验验证结果表明, 试验前后组件的性能未发生明显变化, 能够满足工程化应用要求。

**关键词** 探测器; 杜瓦组件; 低温光学; 低温系统集成

中图分类号 TN215

文献标志码 A

DOI: 10.3788/CJL202249.2110002

## 1 引言

热红外谱段(8~12.5 μm)可用于反演海水温度、地面温度以及大气中的水汽含量, 是红外对地光学载荷的主要探测谱段, 在对地遥感领域发挥着重要作用。热红外遥感探测谱段具有全天候人类活动范围的探测和感知能力, 其红外特性可以反映经济发展情况。结合夜间灯光探测载荷, 热红外谱段可以实现多谱段的分析和融合, 更精确地反映人类活动和经济发展情况。为了进一步提升光学遥感仪器的探测性能, 目前先进的光学系统多采用低温光学技术, 将光学镜头制冷到更低的温度水平(目前红外长波光学系统的温度多在 200 K 左右), 以降低光机辐射, 提高遥感仪器的探测灵敏度和动态范围。

由美国国家航空航天局(NASA)与美国地质调查局合作开发的 Landsat8 中的热红外传感器 TIRS 包括 2 个单独的热红外波段, 由 3 个 640×512 元量子阱红外探测器(QWIP)呈品字形拼接而成<sup>[1-2]</sup>。低温光学技术在机载热红外高光谱成像方面也有着广泛应用, 其主要代表产品是美国的 QWEST<sup>[3-4]</sup> 仪器。QWEST 的探测波段为 8~12 μm, 采用凹面光栅进行分光, 空间分辨率为 0.9 mrad, 视场范围为 40°, 采用机械制冷的方式分别将探测器及分光计冷却到 40 K, 主要应用于地球科学探测相关领域。中国科学院上海

技术物理研究所的刘恩光<sup>[5]</sup>对冷光学系统低温集成关键技术进行了研究; 中国科学院上海技术物理研究所的李春来等<sup>[6]</sup>对 100 K 低温光谱仪进行了设计, 并对低温成像仪的光谱性能测试与应用进行了研究。目前, 用于低温光学系统的多波段长波红外探测器杜瓦封装还未见相关报道, 鉴于此, 本团队针对低温光学用多波段长波红外探测器工程应用所需的多模块拼接与多波段集成滤光片低温配准、组件低温光窗的支撑与隔热、探测器与制冷机耦合应力等封装技术进行系统研究, 成功研制出低温光学用多波段长波红外探测器杜瓦组件, 并进行了一系列空间环境适应性试验验证。验证结果显示, 试验前后组件的性能未发生明显变化。本研究对于我国航天红外遥感仪器的发展具有一定的推进作用。

## 2 低温光学用多波段长波红外探测器杜瓦的特点

## 2.1 器件及拼接基板

芯片结构如图 1 所示。芯片为 30 μm 512×12 元 HgCdTe 探测器, 采用直接倒焊的形式。考虑到探测器的低温热失配, 将 4 个探测器模块采用交错平行的拼接方式拼接在氮化铝基板上。探测器模块在基板上的位置按整机给定的坐标确定。

通过 4 片探测器芯片拼接实现 2000 元线阵大视

收稿日期: 2022-01-05; 修回日期: 2022-02-15; 录用日期: 2022-03-08

基金项目: 地球大数据科学工程(XDA19010102)、国家重点研发计划(2016YFB0500400)

通信作者: \*wxk-sitp@mail.sitp.ac.cn

场探测器设计。在行方向上,条带之间存在 25 像元的搭接。要求探测器的拼接平面度峰谷值(PV 值)优于

$\pm 0.02$  mm(含探测器的平面度)。探测器芯片的排布以及光学系统的对中位置如图 2 所示。

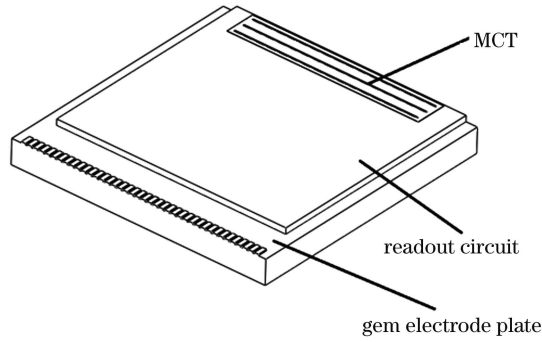


图 1 芯片结构示意图

Fig. 1 Schematic of mercury cadmium telluride (MCT)

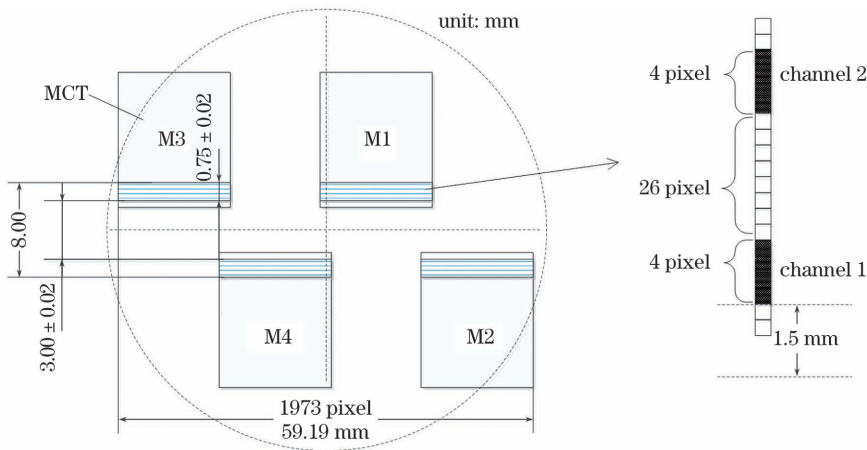


图 2 多波段 HgCdTe 拼接示意图

Fig. 2 Schematic of multi-band MCT stitching

### 2.2 低温光学用多波段长波红外探测器杜瓦

杜瓦是探测器制冷组件在红外相机光学系统中应用的重要桥梁,其主要功能是实现探测器与机械制冷机的耦合,并将探测器封装在真空环境中。系统工作时,杜瓦负责维持探测器的低温(55 K)工作环境,实现与外界高温环境的绝热<sup>[7]</sup>。如图 3 所示,杜瓦采用与制冷机分置耦合的结构。杜瓦的结构如下:1)采用

冷光阑和滤光片支架结构降低背景辐射和杂散光;2)将整个探测器、滤光片、光阑及滤光片支架集成封装在杜瓦真空腔体的冷平台上,同时将 152 根信号引线从真空低温环境引至常温常压环境;3)除了冷光阑及滤光片支架面向探测器的表面进行发黑处理外,杜瓦内腔体中各个零部件的其他表面均采用抛光及镀金处理;4)电引线结构包括优化合并引线,4 个模块都引线

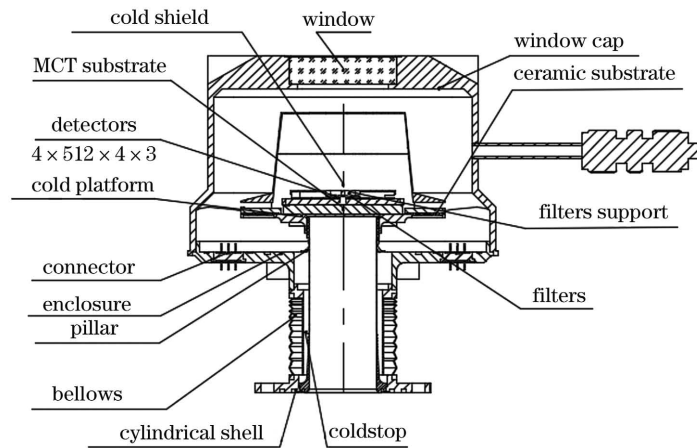


图 3 杜瓦结构图

Fig. 3 Structure of Dewar

至陶瓷电极板上,最后再通过低漏热引线将陶瓷电极板与杜瓦引线互连;5)窗口帽安装在低温冷箱中,槽道热管将窗口帽和窗口冷却至 200 K 左右,窗口帽和制冷机的冷指采用柔性波纹管结构实现低温隔热。

2.2.1 模块品字拼接后与 4 个三波段集成滤光片低温配准

平行拼接的红外探测器的间距较小,且滤光片下表面至探测器衬底之间的距离只有 0.56 mm。滤光片由

4 片尺寸相同的集成滤光片组成,单片材料为锗,每个探测器模块对应一个单片滤光片。布局如图 4 所示,其中剖面阴影区域为透光区域,四周黑色阴影区域为金属阻挡区。在滤光片空白区域作 20 μm 宽的十字标记,并将其作为定位标记。利用光刻技术精确控制三通道透光区域与对中标记的位置关系,要求滤光片在胶接区无滤光片膜。三波段透光区域按照光学要求与红外探测器相应的通道配准,配准后的 4 片滤光片呈“品”字形拼接。

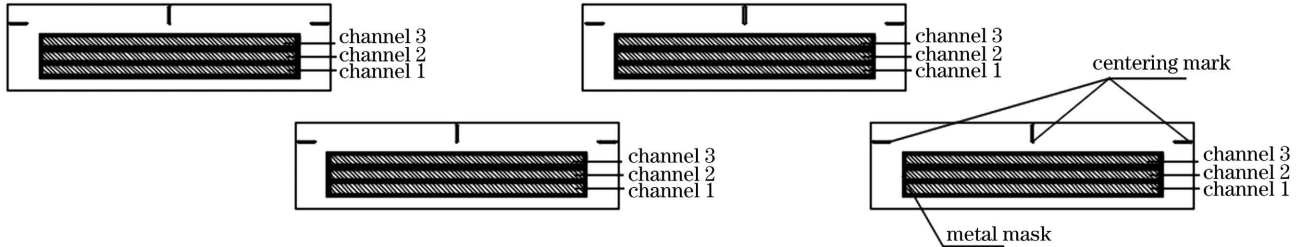


图 4 滤光片结构示意图

Fig. 4 Schematic of filter structure

该系统的光机结构如图 5(a)所示,包括前置透镜系统和探测器杜瓦组件。红外探测器非均匀性产生的主要原因有:1)探测器自身的非均匀性,这与探测器的加工材料和工艺相关;2)探测器工作状态导致的不均匀

性;3)目标和背景辐射的红外辐射强度。杜瓦封装组件作为探测器的光机电热接口,其辐射为第三类背景辐射,会直接影响探测器的非均匀性。在封装结构中,滤光片作为探测器的光学接口直接影响探测器的非均匀性。

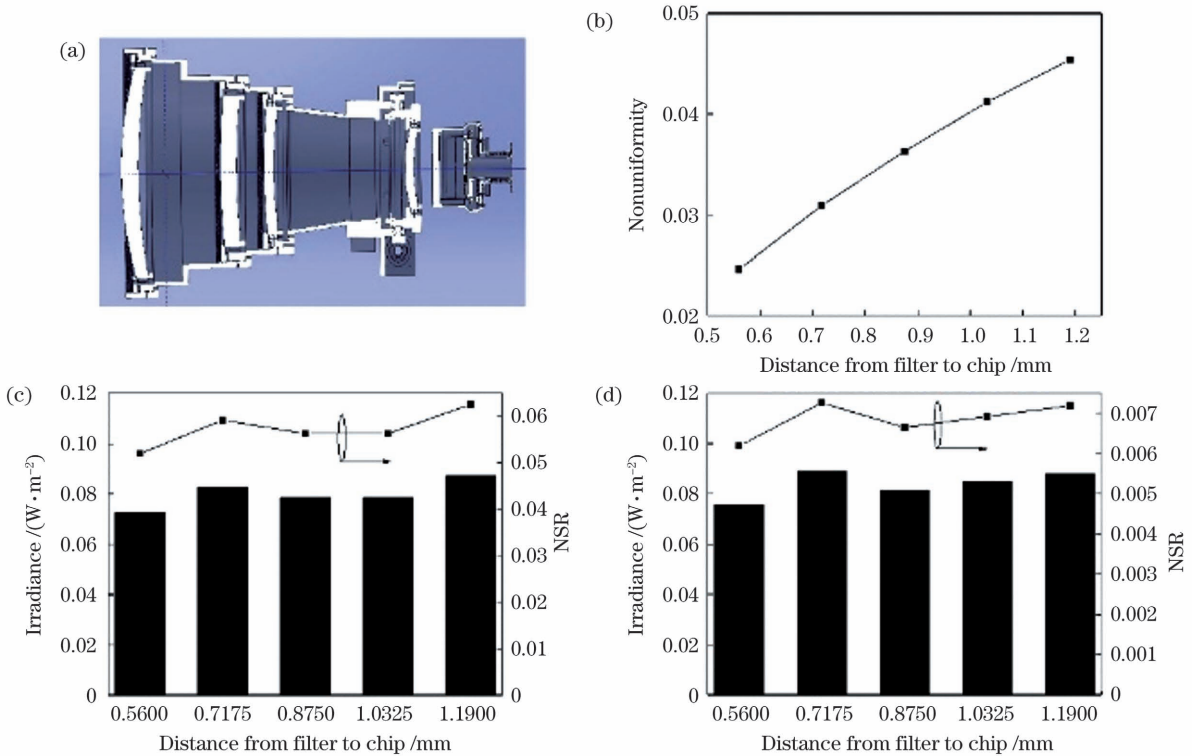


图 5 滤光片位置对杜瓦光学特性影响的仿真分析。(a)系统的光机结构;(b)探测器的不均匀性;(c)M1 模块的杂散光分析;(d)M2 模块的杂散光分析

Fig. 5 Simulation analysis of the influence of filter position on Dewar's optical characteristics. (a) Optical and mechanical structure of proposed system; (b) non-uniformity of detector; (c) stray light analysis of M1 module; (d) stray light analysis of M2 module

两个正对的光通量辐射传输公式可表示为

$$\varphi = L \cdot A_c \cdot \Omega_s, \quad (1)$$

式中: $\varphi$  表示接收面的光通量; $A_c$  表示接收面的面积;

$L$  表示辐亮度; $\Omega_s$  表示立体角。由式(1)可知立体角可定量描述探测器像面接收能量的大小,因此,每个像元的立体角可以表征探测器的非均匀性。

为了进一步优化杜瓦封装结构,本团队计算了滤光片与芯片不同相对位置下的探测器立体角,并由此得到了滤光片与芯片不同相对位置下的探测器不均匀性,如图 5(b)所示。考虑到滤光片安装精度的要求,在不影响成像光路的情况下,本团队设计了尺寸规格为 16.10 mm×0.63 mm、16.20 mm×0.70 mm、16.30 mm×0.76 mm、16.40 mm×0.84 mm 和 16.50 mm×0.90 mm 的滤光片,对应的滤光片到芯片的距离分别为 0.5600、0.7175、0.8750、1.0325、1.1900 mm。如图 5(b)所示,滤光片与芯片像面的距离越远,探测器的不均匀性越大。

另外,本团队还计算了滤光片与芯片不同相对位置下的杂散辐射能量以及对应的杂散辐射比。杂散辐射比(NSR,记为  $r$ )的定义为<sup>[8]</sup>

$$r = N_s / N_t, \quad (2)$$

式中: $N_s$ 表示到达像面的杂散光能量; $N_t$ 表示到达像面的能量。计算得到的仿真结果如图 5(c)、(d)所示,图 5(c)、(d)分别对应的是边缘探测器 M1 和中心探测器 M2。从图中可以看到,随着滤光片远离探测器芯片,探测器芯片上的辐射杂散光能量和杂散比大体上呈上升趋势。

可以得出结论:根据成像光路设计滤光片时,滤光片越靠近芯片,探测器像面的非均匀性、杂散辐射能量和杂散比就越小。为了提高探测器像面的均匀性,在满足安装精度的要求下,杜瓦封装中的滤光片应尽量靠近芯片。

因此,选用滤光片尺寸为 16.10 mm×0.63 mm,滤光片到芯片像面的距离为 0.5600 mm。杜瓦内探测器和滤光片的封装方法如下:

1)4个三波段探测器在陶瓷基板进行拼接胶接,控制陶瓷基板上探测器宝石片的胶接面形平面度不大于 5 μm;

2)4片集成滤光片事先与滤光片支架进行套膜对中胶接,拼接精度控制在-3~+3 μm 范围内;

3)滤光片支架与探测器中心对中,确保对中精度在-5~+5 μm 范围内。

通过 4 个三波段集成滤光片的定位和集成设计,实现了三波段集成滤光片与探测器背套配准,对中误差小于 10 μm。

### 2.2.2 柔性波纹管外壳隔热结构设计

红外探测器杜瓦制冷组件的窗口和窗口帽保持在 200 K 左右低温时,会带来如下好处:1)组件杜瓦窗口帽温度降低,对组件杜瓦内冷平台及冷屏的辐射热减少,制冷机的热负载变小;2)真空杜瓦窗口帽及光窗的温度降低会大大降低杜瓦对探测器的背景辐射。但探测器制冷杜瓦组件处于 200 K 左右时会产生以下问题:1)国家军用标准中有关制冷机的环境适用工作温度为 218 K 左右,当环境温度降为 200 K 时,将对制冷机的设计和工艺提出新的技术挑战;2)制冷机与真

空杜瓦连接处多为膨胀机或脉管,由于是热源,在温差增大时,更多的热量会传递给真空杜瓦的窗口帽和光窗。因此,必须要探索出一种新方法来解决这一问题。

一维稳态热传导公式<sup>[9]</sup>为

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\kappa \frac{dT}{dx} \Delta S, \quad (3)$$

式中: $\Delta Q/\Delta t$ 为导热速率; $\kappa$ 表示材料的热导率; $x$ 表示传递链路距离; $T$ 表示温度; $\Delta S$ 表示传递链路的截面积。选用壁厚为 0.1 mm 的薄壁零件,以减少  $\Delta S$ ,并延长传递链路  $x$ ,降低漏热,增加隔热效果。

对柔性波纹管进行设计,并在低温下对波纹管的漏热  $Q$  进行测定。如图 6 所示,将波纹管胶接在测试杜瓦内部的冷平台上,并在波纹管上下端面贴装二极管,在波纹管上端面贴装加热电阻。漏热测定结果如表 1 所示,波纹管的漏热约为 101 mW (77.6 ~ 193 K)。

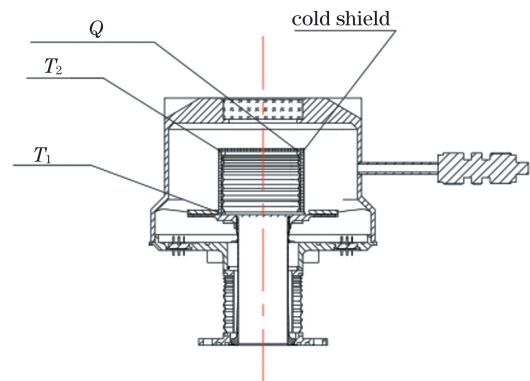


图 6 波纹管漏热测定示意图

Fig. 6 Schematic of heat leakage measurement of bellows

表 1 波纹管的热阻测定

Table 1 Measurement of thermal resistance of bellows

No.	$Q/W$	$T_1/K$	$T_2/K$	$\Delta T/K$
1	0	74.45	153.5	79.05
2	0.101	77.6	193	115.4

在红外定标试验过程中,探测器控温为 60 K,杜瓦温度降至稳定温度约 203 K 时,压缩机散热面温度和脉管散热面温度稳定在 240 K。由图 7 可知,试验过程中,在 55 K 工作温度下,压缩机散热面温度和脉管散热面温度立即上升,而杜瓦温度则无明显变化。

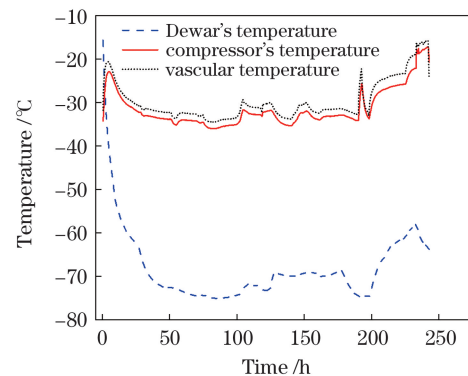


图 7 红外定标试验相关温度

Fig. 7 Temperature related to infrared calibration test

综上,杜瓦柔性波纹管外壳结构实现了红外探测器杜瓦制冷组件的低温外壳与制冷机膨胀机或脉管的热学隔离,实现了红外探测器杜瓦组件柔性波纹外壳 101 mW 隔热。

### 2.2.3 耦合应力物理隔离的冷平台设计

制冷机与杜瓦耦合的传统方式是弹性冷链结构或垫钢无压缩耦合。这两种方式都是通过控制耦合力来减小冷指对低温下探测器的影响。当分置式杜瓦组件的寄生热负载较小时,耦合的接触热阻和温度梯度较小,随着杜瓦组件寄生热负载的增加以及探测器(尤其是大面阵探测器)焦耳热的增加,无论是弹性冷链结构还是垫钢无压缩耦合,接触热阻和温度梯度都会随热负载的增加而增大,这会导致制冷机冷功耗增加,从而影响制冷组件的寿命,甚至会影响探测器的性能和可靠性<sup>[10]</sup>。

本团队根据探测器和制冷机冷指的耦合特性,在冷平台上设计加工了一定形状的弧形隔离槽,槽宽为  $H_1$ ,如图 8 所示,目的是在确保满足一定热负载所需热传输能力的前提下,实现热传导链路和耦合应力传递通道的物理隔离。

对开槽之后的冷平台的表面形变进行监测,并将

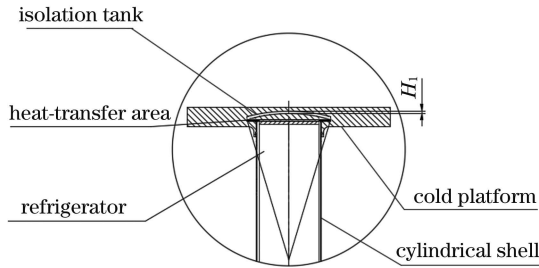


图 8 隔离耦合应力的冷平台结构

Fig. 8 Cold platform structure for isolating coupling stress

表 2 红外焦平面杜瓦组件的主要性能指标

Table 2 Main performance indexes of infrared focal plane array Dewar

Item	Content	Item	Content
Temperature /K	55	Operative pixel percent	99.5%
Wave band / $\mu\text{m}$	B1: 11.5–12.5 $\mu\text{m}$	Response inhomogeneity	10%
	B2: 8.0–10.5 $\mu\text{m}$		
	B3: 0.3–11.3 $\mu\text{m}$	Maximum size / (mm $\times$ mm $\times$ mm)	115 $\times$ 115 $\times$ 126
Temperature difference /K	$\pm 0.4$	Adapter cooler	Special
Pixed number	2000 $\times$ 12	Heat load /mW	1350
Pixel size / ( $\mu\text{m}\times\mu\text{m}$ )	30 $\times$ 30	Assembly mass/g	1750
Packaging	Dewar		



图 10 杜瓦组件照片

Fig. 10 Photo of Dewar

其与未开槽的冷平台的表面形变进行对比,对比结果如图 9 所示。可以看出:在杜瓦与制冷机全耦合实施过程中,未开槽冷平台表面形变急剧变大,并稳定在 40  $\mu\text{m}/\text{m}$  左右;开槽之后的冷平台表面形变基本没有变化,并稳定在 8  $\mu\text{m}/\text{m}$  左右(形变相比未开槽冷平台减小了 80% 左右)。由此可以推断开槽之后的冷平

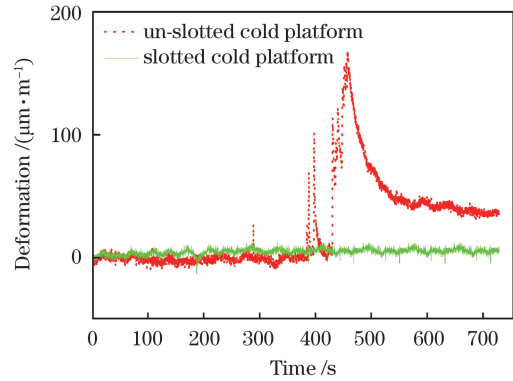


图 9 过盈耦合应力试验

Fig. 9 Interference coupling stress test

台表面应力相比未开槽的冷平台降低了 80%。在杜瓦与制冷机过盈耦合下,热层结构的探测器在 52 K 低温下未发生热失配失效<sup>[11]</sup>,性能正常,可以认为此结构能够有效隔离过盈耦合带来的应力。

## 3 产品及主要性能指标

基于上述关键技术的突破,本团队成功获得了性能良好的低温光学用多波段长波红外焦平面杜瓦组件,其性能指标如表 2 表示。本团队按照《红外焦平面探测器制冷通用规范》的环境试验要求完成了相关的环境试验,试验结果表明探测器工作正常,杜瓦制冷组件性能正常。图 10 为杜瓦组件照片。

## 4 结 论

低温光学用多波段长波红外焦平面在空间高分辨和高灵敏度航天应用中发挥着重要作用<sup>[12]</sup>。本团队提出了可实现三波段集成滤光片与探测器背套对中误差在 10  $\mu\text{m}$  以下的配准方案,所设计的红外探测器杜瓦组件柔性波纹管外壳的漏热为 101 mW。同时,本团队通过在杜瓦冷平台上设计加工具有一定形状的弧形隔离槽,解决了多波段长波红外探测器组件的低光串、

低背景辐射、低功耗、冷平台高温均匀性和探测器高可靠性等关键技术,得到了性能较好的低温光学用多波段长波红外焦平面杜瓦组件。

### 参 考 文 献

- [1] Jhabvala M, Choi K K, Gunapala S, et al. QWIPs, SLS, Landsat and the international space station[J]. Proceedings of SPIE, 11288: 1128802.
- [2] Montanaro M, Barsi J, Lunsford A, et al. Performance of the thermal infrared sensor on-board Landsat 8 over the first year on-orbit[J]. Proceedings of SPIE, 2014, 9218: 921817.
- [3] Johnson W R, Hook S J, Mouroulis P Z, et al. QWEST: quantum well infrared earth science testbed[J]. Proceedings of SPIE, 2008, 7086: 708606.
- [4] Knight J S, Acton D S, Lightsey P, et al. Integrated telescope model for the James Webb Space Telescope[J]. Proceedings of SPIE, 2012, 8449: 84490V.
- [5] 刘恩光. 冷光学系统低温集成关键技术研究[D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2018.  
Liu E G. The key technology research of cryogenic optical integration system [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, 2018.
- [6] 李春来, 吕刚, 袁立银, 等. 机载热红外高光谱成像仪的光谱性能测试与初步应用[J]. 红外与激光工程, 2020, 49(5): 20190117.  
Li C L, Lü G, Yuan L Y, et al. Laboratory calibration and application of the airborne thermal infrared hyperspectral imager (ATHIS)[J]. Infrared and Laser Engineering, 2020, 49(5): 20190117.
- [7] 李俊, 王小坤, 孙闻, 等. 超长线列双波段红外焦平面探测器杜瓦封装技术研究[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(11): 1104003.  
Li J, Wang X K, Sun W, et al. Study on Dewar package for dual-band long linear IRFPA detectors[J]. Infrared and Laser Engineering, 2018, 47(11): 1104003.
- [8] 杜述松, 王咏梅, 杜国军, 等. 干涉成像光谱仪的杂散光分析[J]. 应用光学, 2009, 30(2): 246-251.  
Du S S, Wang Y M, Du G J, et al. Stray light analysis of Fabry-Perot interference imaging spectrometer[J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(2): 246-251.
- [9] 张文钺. 焊接传热学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.  
Zhang W Y. Heat transmission of welding[M]. Beijing: China Machine Press, 1989.
- [10] 陈星, 何凯, 王建新, 等. 碲镉汞线列红外探测器模块温度循环的可靠性[J]. 红外与毫米波学报, 2014, 33(4): 369-374.  
Chen X, He K, Wang J X, et al. Thermal cycling reliability of linear HgCdTe infrared detectors[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2014, 33(4): 369-374.
- [11] 王建宇, 李春来, 姬弘楨, 等. 热红外高光谱成像技术的研究现状与展望[J]. 红外与毫米波学报, 2015, 34(1): 51-59.  
Wang J Y, Li C L, Ji H Z, et al. Status and prospect of thermal infrared hyperspectral imaging technology [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2015, 34(1): 51-59.
- [12] 陈凡胜, 胡璋悦, 李潇雁, 等. 宽幅高分辨热红外遥感成像技术研究[J]. 中国激光, 2021, 48(12): 1210002.  
Chen F S, Hu Z Y, Li X Y, et al. Research on wide-range and high-resolution thermal infrared remote sensing imaging technology[J]. Chinese Journal of Lasers, 2021, 48(12): 1210002.

## Dewar Packaging Technology of Multiband Long-Wave Infrared Focal Plane Array Detectors for Cryogenic Optics

Chen Junlin<sup>1,2</sup>, Wang Xiaokun<sup>1,2\*</sup>, Zhu Haiyong<sup>1,2</sup>, Zeng Zhijiang<sup>1,2</sup>, Li Yaran<sup>2</sup>,  
Luo Shaobo<sup>1,2</sup>, Wang Xi<sup>1,2</sup>, Lin Chun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

<sup>2</sup> Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China

### Abstract

**Objective** Most current advanced optical systems employ low-temperature optical technology to cool the optical lens to a lower temperature level to reduce optomechanical radiation and enhance the detection sensitivity and dynamic range of remote sensing instruments, which helps to enhance the detection performance of optical remote sensing instruments. This research focuses on the packaging technologies that are required for the engineering application of multiband long-wave infrared detectors for cryogenic optics, including multimodule splicing and multiband integrated filter low-temperature registration, support and heat insulation of low-temperature optical windows of modules, and coupling stress between detectors and refrigerators. Through systematic investigation, the multiband long-wave infrared detector's Dewar for low-temperature optics has been successfully developed, and it has been confirmed by a series of space environment adaptability tests.

**Methods** 1. Low-temperature module splicing registration and four three-band integrated filters. The filter was designed based on the imaging optical path. The closer the filter was to the chip, the smaller the non-uniformity, stray radiation energy, and the detector image surface's stray ratio. To enhance the detector image plane's uniformity, the filter in the Dewar package should be as close to the chip as possible (Fig. 5). Detectors and filters were packaged as follows: 1) four three-band detectors were spliced and cemented on the ceramic substrate, and the flatness of the cemented surface of the ceramic substrate detector's gemstone was controlled to be less than  $5\ \mu\text{m}$ ; 2) the four integrated filters were preliminarily bonded to the filter holder, and the splicing accuracy was controlled in the range from  $-3\ \mu\text{m}$  to

+ 3  $\mu\text{m}$ ; 3) the filter holder was aligned with the detector's center, ensuring the alignment accuracy was in the range from - 5  $\mu\text{m}$  to + 5  $\mu\text{m}$ .

2. The design of the flexible bellows shell's thermal insulation structure. We proposed a Dewar flexible bellows shell structure for the infrared detector assembly employed in the low-temperature optical system. By increasing the heat transfer path, reducing heat leakage, and increasing thermal insulation, the heat transfer area of the transfer link can be reduced.

3. The design of a cold platform for physical isolation of coupled stress. In this research, based on the detector's coupling characteristics and the refrigerator's cold finger, an arc-shaped isolation groove of a specific shape was designed and processed on the cold platform. The groove width is  $H_1$  (Fig. 8). On the heat transfer capacity's premise needed by a certain heat load, the heat conduction link's physical isolation and the coupling stress transfer channel were achieved.

**Results and Discussions** Through the positioning and integration design of four three-band integrated filters, the alignment error between three-band integrated filter and detector back cover is less than 10  $\mu\text{m}$ . By implementing the Dewar flexible bellows shell structure, the thermal isolation between the infrared detector Dewar refrigeration assembly's low-temperature shell and the refrigerator expander or pulse tube is achieved, as well as the infrared detector Dewar assembly flexible corrugated shell's 101 mW thermal insulation (Table 1). During the thermal vacuum test, at the operating temperature of 55 K, the temperatures of the compressor's cooling surface and the pulse tube's cooling surface increased immediately, and there was no visible response to the Dewar temperature (Fig. 7). We measured the cold platform's surface deformation after slotting and compared it with the cold platform's surface deformation without slotting (Fig. 9). During the implementation of the Dewar's full coupling and the refrigerator, the unslotted cold platform's surface deformation increases sharply and stabilizes at around 40  $\mu\text{m}/\text{m}$ , while the cold platform's surface deformation after grooving does not change, and stabilizes at about 8  $\mu\text{m}/\text{m}$ , and the deformation decreases by about 80%. From this, it can be deduced that the cold platform's surface stress is reduced by 80% after grooving.

**Conclusions** The challenges of packaging multiband long-wave infrared detectors are examined to meet the requirements of spliced multiband long-wave IRFPA in cryogenic optics. It is proposed that the three-band integrated filter and the detector's back cover can be aligned with a misalignment of fewer than 10  $\mu\text{m}$ , and the Dewar flexible corrugated housing 101 mW heat insulation is realized. Simultaneously, measures including a multilayer thermal layer structure that physically isolates the coupled stress are designed on the Dewar cold platform. It addresses essential technologies like low light string, low background radiation, low power consumption, high-temperature uniformity of cold platform, and high reliability of multiband long-wave infrared detector components. A 12.5  $\mu\text{m}$  three-band 2000  $\times$  12 element detector component for cryogenic optics was successfully developed and a series of space environment adaptation tests were implemented, and the test results indicate that the Dewar assembly meets the criteria of engineering application.

**Key words** detector; Dewar assembly; cryogenic optics; cryogenic system integration