文章编号　2095-1531(2017)06-0744-08

双波段芯片集成封装组件的低温光谱定量化

徐勤飞[1,2,3*],刘大福[1,2],龚海梅[1,2],吴家荣[1,2],蒋梦蝶[1,2],
张亚妮[1],季　鹏[1,2],王　仍[1,2],张　麟[1]
(1. 中国科学院 上海技术物理研究所 传感技术联合国家重点实验室,上海 200083;
2. 中国科学院 上海技术物理研究所 中国科学院红外成像材料与器件重点实验室,上海 200083;
3. 中国科学院大学,北京 100049)

摘要:在同一组件中多芯片多波段的应用中,由于芯片的中心距越来越小,导致某些相邻波段通常被集成制备到一个芯片上。为减小波段串扰,本文针对一体化双波段芯片集成封装组件的低温光谱定量化展开研究,通过制备一体化双波段芯片集成封装组件,并通过波段间物理隔离、金属区物理遮盖等措施将两波段的光束隔离。测试结果表明隔离前后,芯片间光谱串光现象有了明显改善,波段间串扰从 8% 降到了 4% 以内,光谱带外响应从 6.5% 降低至 0.78%。为了避免低温工况下物理隔离条与芯片的热失配问题,隔离条采用与芯片衬底完全一致材料。双波段芯片集成封装组件的高低温冲击试验表明,其在有效抑制组件内串扰的同时,也解决了组件内关键部件的热失配问题。

关　键　词:光谱定量化;探测器组件;低温光谱;物理隔离;光学串扰
中图分类号:TN215　　**文献标识码:**A　　doi:10.3788/CO.20171006.0744

Low temperature spectroscopy quantification of integrated dual band chip package

XU Qin-fei[1,2,3*], LIU Da-fu[1,2], GONG Hai-mei[1,2], WU Jia-rong[1,2], JIANG Meng-die[1,2],
ZHANG Ya-ni[1], JI Peng[1,2], WANG Reng[1,2], ZHANG Lin[1]
(1. *State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai* 200083, *China*;
2. *Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Detectors, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai* 200083, *China*;
3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)
* *Corresponding author, E-mail: xu*5178@163. *com*

Abstract: As the chip center distance becomes smaller and smaller, some adjacent bands are usually integrated and prepared on a single chip in multi-chip and multi-band applications of the same component. Therefore, the crosstalk between the chips and the reflection of the chip metal film area will have some impact on the

收稿日期:2017-05-11;**修订日期:**2017-07-13
基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61376052)
Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 61376052)

spectral characteristics. In order to reduce the influence of band crosstalk, this paper studies the low-temperature quantificational spectrum control of integrated dual-band chip package. By preparing integrated dual-band chip package, two-band beam isolation is achieved through physical isolation between wavebands and physical cover of the metal areas. The test results show that the spectral crosstalk between chips has been significantly improved after isolation. The crosstalk between bands has been reduced from 8% to 4%, and the out-of-band response has been reduced from 6.5% to 0.78%. In order to avoid the problem of thermal mismatch between the physical isolation strip and the chip under the condition of low temperature, the isolation strip adopts the material which is completely consistent with that of the chip substrate. High-low temperature impact test of dual-band chip package shows that the thermal mismatch of the key components in the package can be solved while effectively suppressing the crosstalk in the package.

Key words: quantificational spectrum control; detector assembly; low temperature spectrum; physical insulator; optical cross-talk

1　引　言

卫星获取数据时,受到譬如大气、双向反射、地形因素及几何配准等诸多因素的影响,导致其获取的遥感信息中含有非目标地物成像信息。另外,由于地面同一地物在不同时间内辐射亮度会随着太阳高度角的变化而发生变化,导致获得数据的预处理精度达不到定量分析标准,最终致使探测结果偏差较大。客观准确地监测识别大范围和全天候的云图信息和天气动态,详细精确地提供海洋、陆地数值预报已成为现代社会的必要支撑,分析与预测的准确性需要更高的光谱分辨率和空间分辨率(地面分辨率)。美国是最早研制和发射气象卫星的国家,自 1960 年 4 月 1 日发射了世界上第一颗气象卫星—泰罗斯-1(Tiros-1),后续又发射了 10 颗泰罗斯系列气象卫星。接着发展了“艾萨(ESSA)”号太阳同步轨道气象卫星、地球静止轨道的“地球静止环境业务卫星”(GOES)、新一代三轴稳定静止气象卫星和诺阿系列极轨气象卫星。早期气象卫星虽提供了大量的气象资料,但卫星云图分辨率不高,效果不是很理想。这一情况从 GOES-8 开始有了改变,该卫星携带了可同时独立工作的成像仪和大气垂直探测仪。采用三轴稳定技术可使静止轨道卫星每旋转一圈只对地球扫描一行的工作方式有所改变,其可始终对着地球,从而大大提高了图像质量、观测效率和时间分辨率,故可获得更加详细的有关云形成的资料。这对监测中小尺度,特别是短时间、小尺度天气系统十分有利[1-2]。20 世纪 70 年代后期,日本和欧盟也相继发展了自己的系列静止轨道气象卫星。Jeffery J. Puschell 等人报道了日本 MTSAT 静止轨道气象卫星定量化控制得到的光谱图[3]。目前,国内遥感卫星不仅要求组件性能达到系统要求,而且对组件的光谱特性也提出了越来越高的要求。为满足卫星对定量化的需求,整机系统相继对组件提出了“矩形”标准光谱的要求。谱形控制是目前研制多波段集成组件中迫切需要解决的问题。随着同一组件内多芯片多波段的发展,芯片的中心距也越来越小,波段间的串扰越来越显著,串扰的主要来源是光学串扰。利用几何光学经过简单分析可知,缩减滤光片与芯片之间的距离是一种有效的削弱光学串扰的办法,其主要有两种解决措施。一种是在芯片上集成滤光膜结构[4-5],该结构将滤光片与芯片距离缩小为零,从而削弱波段间的串扰。但该方法需要考虑芯片与滤光膜的工艺兼容性及热力学匹配等因素,实际应用中往往极大地降低了芯片-滤光片组合件成品率;另一种就是将滤光片以“桥”或者“网兜”式结构,安装至芯片近表面[6-7],该方法也是最常采用的方法。

本文设计并研制了一体化双波段芯片集成封装组件,分别从结构设计、影响因素、设计要点、低温光谱串扰及热可靠性等方面进行了分析和实验

研究。

2 组件研制

2.1 组件结构设计

根据整机系统需求并综合考虑光谱影响因素开展了组件的结构设计。一体化双波段芯片集成封装组件由封装外壳、探测器芯片、支撑、隔离条、光阑、窗口、微型滤光片等形成。芯片为3×2的6元结构,即芯片由2列光敏元组成,每列的3元为“一字型”排列。两列分别对应两个探测波段,波段由滤光片实现分光,这两个波段分别为:L1:10.3~11.3 μm,L2:11.5~12.5 μm。两列光敏元的间隔为0.3 mm,光敏元视场角为60°。如图1所示。

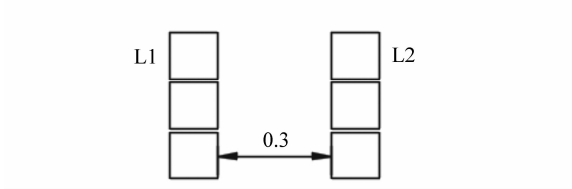

图1 光敏元排布及尺寸图

Fig. 1 Arrangement and dimensional schematic of photo-sensitive

从图1中可以看出,波段间(列与列光敏元)的间隔只有0.3 mm,系统的光学视场角很大(约为60°)。在这种尺寸限制下,双波段间的光学串扰难以避免,其容易影响到组件的光谱,而红外光谱的形状和带外响应又会直接影响到图像的反演精度。因此,在小间距大视场的多波段芯片的集成封装中,通道的串扰和光谱的定量化通常作为一个非常重要的考核标准。对于低温工作的探测器组件,热应力也是一个需要着重考虑的因素。本文重点从波段间的光学串扰和防杂散光及热匹配方面进行设计。由于红外波长较长,且红外波段的探测器组件通常工作在100 K以下,为避免两种材料间热匹配引起的光敏元失效,滤光片与芯片通常不粘接到一起。在封装结构中,滤光片采用两端桥墩支撑的方式固定,并要尽可能地缩短滤光片与芯片的距离[8]。这是因为滤光片与芯片的距离越近,两个波段间的相互串光越小,当滤光片与芯片的距离与透过光的波长相当时,光的干涉、衍射等现象和影响则不能忽略。为了避免干涉、衍射效应引起的光谱异常,滤光片与芯片间的距离也不能过小。

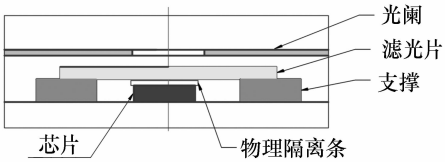

图2 组件结构设计图

Fig. 2 Component structure design

2.2 光谱影响因素及设计要点

在组件设计中,光路中的关键面可分为光学面和机械面两大类。窗口、滤光片都在光路中,被光敏元可视,也都会被信号光照亮,都是关键面,同时又都是被照射面,所以光学面全部都是重要面。良好光学面的总散射光比例的理论计算公式为:

$$\frac{\Delta R}{R} = 1 - e^{-(4\pi\delta/\lambda)^2} = \left(\frac{4\pi\delta}{\lambda}\right)^2, \qquad (1)$$

式中,R为材料的表面发射率,ΔR为散射光的比例,δ为表面粗糙度的均方根,相当于R_a(R_a为轮廓算数平均偏差:是指在取样长度内,被测轮廓上各点到基准线的距离的绝对值的算数平均值)。

抑制光学零件一次散射的方法有3种:其一,入射能量是反射、散射和吸收三者之和,因此,为了减少反射和散射,需要提高膜层的透过率,因而在组件设计中需要尽可能地提高窗口、滤光片等光学镜面的吸收率和透过率,从而抑制散射和反射;其二,对散射与光学零件表面的颗粒粗糙度RMS息息相关,提高光学零件平面度和清洁度也有利于抑制散射,其需要在镀膜前对光学零件表面进行精抛光,同时,在光学零件组装到组件前后时,对零件表面进行清洁处理;其三,减小光学零件的光学余量,减少发生散射的零件的面积,提高光学零件的表面使用率也能够抑制散射[9]。

对于机械关键面,需要分析入射光在光路周围哪些零件表面可能经过反射、散射、透射等进入光路,影响到成像。根据受照射的强弱确定其是否为重点关注面。

(1)考虑到窗口、滤光片等光学零件的光学

面对组件低温光谱的影响,在组件设计中,需要对该类光学零件做出要求。

首先选用合适的材料,该材料在工作波段内要具有较高的透过率,同时要求膜层加工要有尽可能高的透过率;其二,对光学零件表面提出精抛光和较高粗糙度的要求,以使镀膜后表面有尽可能高的光洁度和清洁度;其三,将光学零件的面积控制在合理范围内,以减少光学零件表面的散射和反射。

(2)考虑到机械面对组件低温光谱的影响,结构设计中,需要重点考虑滤光片崩边、滤光片拼缝、芯片边缘、芯片电极强反射区及其他组件中的零件表面可能对组件低温光谱产生的影响。

(a)红外带通滤光片对组件低温光谱的影响。

组件结构设计中,需要考虑滤光片崩边和拼缝的影响。

红外带通滤光片具有带内高透过率、带外抑制,甚至截止的特点,可以实现芯片的窄带分光,对抑制背景干扰、提高信噪比具有非常重要的作用。在通过红外窄带滤光片实现芯片分光时,组件光谱形状通常由滤光片光谱形状决定。由于组件通常采用微型滤光片,通道间的间隔很小,滤光片的边缘距芯片很近,滤光片的崩边可能会影响组件光谱,而崩边膜层的缺损很容易引入背景光。在小通道间隔,大视场角情况下,设计人员通常将滤光片的崩边和拼缝作为机械关键面,因为其将影响到组件的光谱。

双通道滤光片拼接时,拼缝的存在将引入杂散光和背景光。因此组件结构设计中,要避免滤光片崩边距离光路太近。同时拼缝还应尽可能小,且远离光路。

(b)芯片对组件低温光谱的影响。

组件设计中,需要考虑芯片边缘、强反射区可能对组件低温光谱的影响。

芯片边缘及强反射区均可能引起一次或多次反射、散射,当这些光线进入光路时,将产生杂散光,影响到成像,高强度的一次散射甚至会产生鬼像。

(c)其他机械面对组件低温光谱的影响。

在光路周围的电极板(尤其是电极板表面的金电极,电极引线丝),光阑表面(尤其是光阑孔径的反射面)等均可能产生反射、散射、透射等,这些光线进入光路将会影响到成像[10-12]。因此需要在合适的位置采用发黑的光阑对杂散光进行吸收和抑制,同时光阑边缘应进行刀口设计,以减小杂散光[13-14]。

(3)组件设计中,需要考虑芯片光谱对组件低温光谱的影响。

用于封装组件的芯片尽量选取波段内光谱相对平滑的,以免芯片光谱位于毛刺或者截止区,从而影响组件的光谱形状。

(4)本文组件是工作在 90 K 的低温下,而相关组装和封装过程均在常温状态进行。因此,当组件从常温制冷到低温后,由于不同零件材料的热胀系数不同,组件中各零件的尺寸变化量也不同,由此产生的热应力,将可能引起组件低温光谱异常[15]。

组件中各零件材料选用不当会引起材料热失配,从而引起低温下零件形变和滤光片膜层的拉扯,从而导致组件光谱异常,甚至引起失效。因此,组件设计中,要尽量采用热匹配材料。

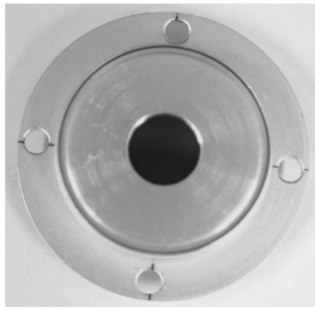

图 3　样品形貌

Fig. 3　Morphology of sample

表 1　样品状态

Tab. 1　States of samples

样品编号(组件)	滤光片与光敏元间距/mm	物理隔离有无
1#	0.3	无
2#	0.1	无
3#	0.1	有

根据以上结构设计要求,开展了组件的组装和封装。封装后的样品形貌如图 3 所示,样品编号为 1#、2#、3#。样品状态如表 1 所示。

3 实验分析

3.1 光阑对散射杂光的影响

在合适的位置设置发黑的光阑可以对杂散光进行有效的吸收和抑制。

光阑孔径与视场孔径相同,以限制视场外关键表面的数目与大小,减少杂光辐射的传输途径。图 4、图 5 给出了组件增加光阑后的效果。

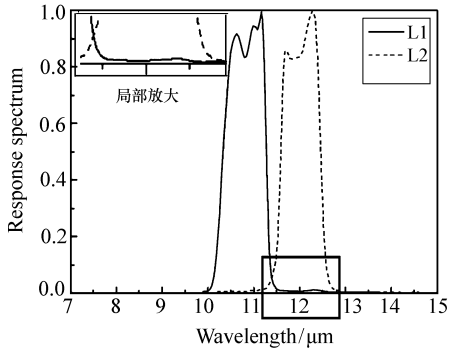

图 4 未安装光阑低温光谱图

Fig. 4 Response spectrum without diaphragm at 90 K

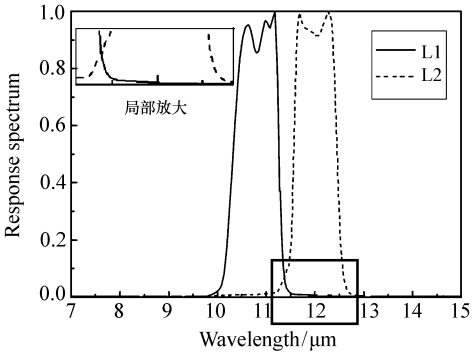

图 5 安装光阑后低温光谱图

Fig. 5 Response spectrum with diaphragm at 90 K

安装光阑后,杂光在管壳内与光阑上散射后,到达像面探测器的直接路径被阻隔,因此大大减小了散射杂光。增加光阑后,L1 通道在 11.9 ~ 12.5 μm波段的响应有了明显的抑制。L2 通道光谱形状有了明显的改善。

3.2 组件低温光谱分析

目前,多项目中均有“矩形”标准光谱的要求,具体如图 6 所示。光谱 $y=f(\lambda)$ 曲线要求落在内框和外框之内(即区域 C 内),凡是落在内框和外框外(区域 A、B)的则为光谱带外响应。

光谱带外响应百分比 $\eta_{带外}$ 指落在区域 A、B 内的面积与总面积之比。外框 $y=F(\lambda)$,内框 $y=G(\lambda)$,则有如下表达式:

$$\eta_{带外} = \int f(\lambda)\,\mathrm{d}\lambda\ , \tag{2}$$

$$\eta_{带外} = \frac{S_A + S_B}{S_{总}}\ , \tag{3}$$

其中:

$$S_A = \int [f(\lambda) - F(\lambda)]\,\mathrm{d}\lambda\ , \tag{4}$$

$$S_B = \int [G(\lambda) - f(\lambda)]\,\mathrm{d}\lambda\ , \tag{5}$$

$$S_{总} = \int f(\lambda)\,\mathrm{d}\lambda\ . \tag{6}$$

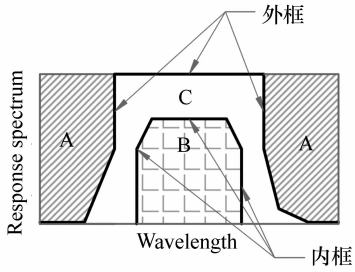

图 6 矩形标准光谱框

Fig. 6 Rectangular standard spectral box

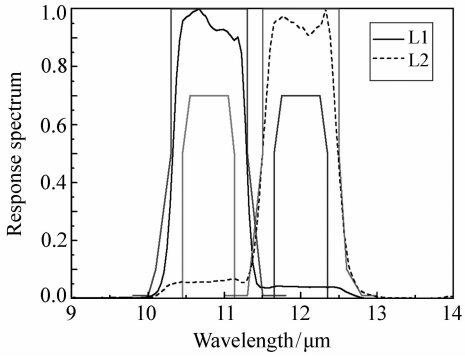

图 7 1#组件低温光谱

Fig. 7 Response spectra of 1# component at 90 K

对按照结构设计研制的 3 个样品测得的低温

光谱及其对“矩形”标准光谱的响应如图 6 ~ 图 9 所示。

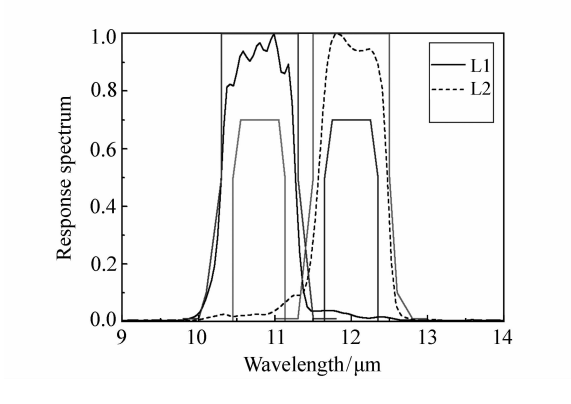

图 8　2#组件低温光谱

Fig. 8　Response spectra of 2# component at 90 K

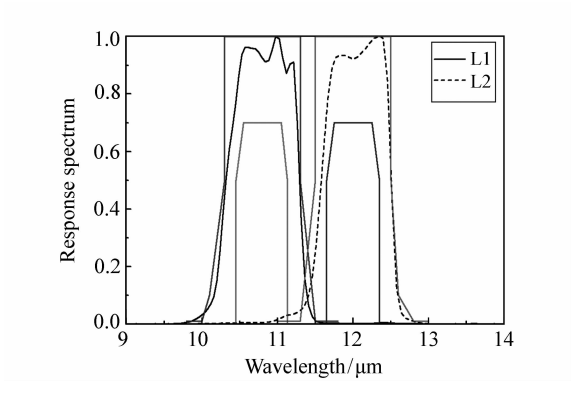

图 9　3#组件低温光谱

Fig. 9　Response spectra of 3# component at 90 K

以上图表表明,通过缩短滤光片到芯片间的间距,可以增加滤光片崩边和拼缝至视场光束间的距离,从而减小波段间的互相干扰,改善了低温光谱形状。同时通过波段间物理隔离、金属区物理遮盖将两波段的光束从物理上进行隔离。结果表明:通过以上措施,波段间串扰从 8% 降到 4% 以内,根据以上公式可以算出波段 L1 光谱带外响应从 3.2% 降低至 0.18%,波段 L2 光谱带外响应从 6.5% 降低至 0.78%。

3.3　热学分析

针对低温工作状态下物理隔离条与芯片的热失配问题,隔离条采用与芯片衬底完全一致的材料可以降低热失配的隐患。对一体化双波段芯片集成封装组件开展了 50 次高低温冲击试验。高温温度为室温,低温温度为 80 K,极限温度保持 15 min,变温速率为 10 ℃/min。试验前后数据如图 10 ~ 图 11 所示。

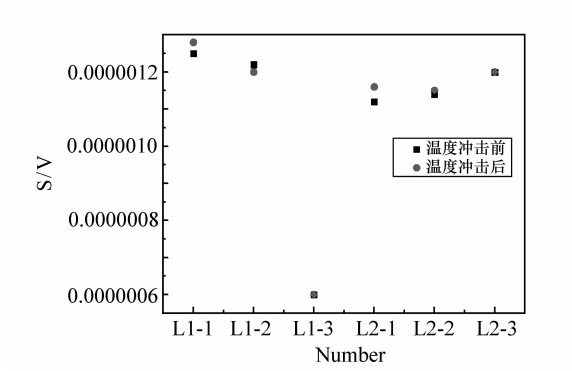

图 10　高低温冲击试验前后信号变化

Fig. 10　Signals before and after high-low temperature impact test

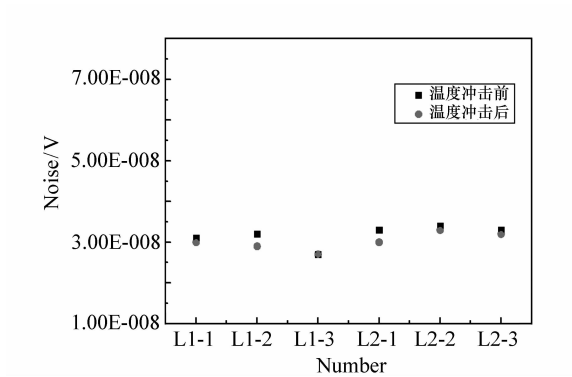

图 11　高低温冲击试验前后噪声变化

Fig. 11　Noises before and after high-low temperature impact test

结果显示组件在高低温冲击试验前后性能无明显变化,信号变化小于 5%,噪声变化小于 10%。组件通过了高低温冲击试验,在有效抑制串扰的同时,也解决了组件内关键部件的热失配问题。

4　结　论

双波段芯片集成封装组件由于受到波段中心距、视场角、工艺等多种因素的制约,波段间光学串扰现象严重,本文通过在封装结构中设置冷光阑、波段间物理隔离、金属区物理遮盖的措施将两波段的光束从物理上进行隔离,以有效解决光谱

串扰问题,实现较低的光谱带外响应,进而实现光谱定量化。实验结果证明:隔离后,芯片间光谱串光现象有了明显改善,获得了形状很好的低温光谱,波段间串扰降到了4%以内,光谱带外响应降低至0.78%以内,满足光谱定量化的要求。

参考文献:

[1] LINDSEY D T,SCHMIT T J,MACKENZIE W M,*et al*.. 10.35 μm:an atmospheric window on the GOES-R advanced baseline imager with less moisture attenuation[J]. *Applied Remote Sensing*,2012(6):063598-1-063598-12.

[2] HILLGER D W,SCHMIT T J. The GOES-14 science test:imager and sounder radiance and product validations[R]. NOAA Technical Report NESDIS,2010,8.

[3] PUSCHELL J J,LOWE H A,JETER J,*et al*.. Japanese Advanced Meteorological Imager(JAMI):design, characterization and expected on-orbit performance[J]. *International TOVS Study Conference-XIII Proceeding*,2003,10:617-633.

[4] 王云姬.集成滤光微结构的InGaAs短波红外探测器[D].上海:上海技术物理所,2014.
WANG Y J. *Study on planar InGaAs short wavelength infrared detector integrated with filter film*[D]. Shanghai:Shanghai Institute of Technical Physics,Chinese Academy of Sciences,2014.(in Chinese)

[5] 蔡渊,周晟,刘定权.基于组合Fabry-Perot膜系的中波红外双色滤光片设计[J].光学学报,2016,36(2):195-202.
CAI Y,ZHOU SH,LIU D Q. Design of dual-band-pass optical filter based on combination of fabry-perot coatings in mid-infrared band[J]. *Acta Optica Sinica*,2016,36(2):195-202.(in Chinese)

[6] DRUART G,GU'ERINEAU N,HÄIDAR R,*et al*.. MULTICAM:a miniature cryogenic camera for infrared detection[J]. *SPIE*,2008,6992:69920G-10.

[7] 夏王,王小坤,林春,等.12.5 μm长线列碲镉汞焦平面杜瓦组件[J].激光与红外,2012,42(4):389-392.
XIA W,WANG X K,LIN CH,*et al*.. Dewar for 12.5 μm long linear HgCdTe IRFPA[J]. *Laser & Infrared*,2012,42(4):389-392.(in Chinese)

[8] 郭帮辉,孙强,王志,等.300~1100 nm多波段成像光学系统设计及杂光分析[J].中国光学与应用光学,2010,10(3):474-479.
GUO B H,SUN Q,WANG ZH,*et al*.. Design of 300- 1100 nm multiband optical imaging system and its stray light analysis[J]. *Chinese J. Optics and Applied Optics*,2010,10(3):474-479.(in Chinese)

[9] 李新耀.风云二号扫描辐射计杂散光分析与抑制[D].上海:上海技术物理所,2006.
LI X Y. *Analyzing and suppressing visible stray light of scanning radiometer for FY-2 meteorological satellite*[D]. Shanghai:Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences,2006.(in Chinese)

[10] 汪洋.红外探测器组件杂散光分析及抑制研究[D].上海:上海技术物理所,2016.
WANG Y. *Study on suppression and analysis of stray light in infrared detector assembly*[D]. Shanghai:Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences,2016.(in Chinese)

[11] 金宁,杨开宇,曹凌,等.红外系统冷屏形状的优化设计[J].光学学报,2016,36(1):104-111.
JIN N,YANG K Y,CAO L,*et al*.. Optimization design for the shapes of cold shield in infrared systems[J]. *Acta Optica Sinica*,2016 ,36(1):104-111.(in Chinese)

[12] 尹爽,朱颖峰,黄一彬,等.红外焦平面杜瓦冷屏挡光环杂散辐射的抑制[J].红外技术,2015,37(11):916-920.
YIN SH,ZHU Y F,HUANG Y B,*et al*.. The stray radiation suppression of the baffles of infrared focal plane dewar[J]. *Infrared Technology*,2015,37(11):916-920.(in Chinese)

[13] 卜和阳,卢振武,张红鑫,等.内掩式透射地基日冕仪中杂光鬼像的消除[J].中国光学,2013,6(2):231-236.
BU H Y,LU ZH W,ZHANG H X,*et al*.. Suppresion of stray light ghost image in internally occulting refractive ground-based coronagraph[J]. *Chinese Optics*,2013,6(2):231-236.(in Chinese)

[14] 李萍,卢振武,夏利东,等.反射式内掩日冕仪的光学设计与杂散光分析[J].中国光学与应用光学,2009,2(5):408-413.

LI P,LU ZH W,XIA L D,*et al*.. Stray light analysis of internally occulted mirror coronagraph[J]. *Chinese J. Optics and Applied Optics*,2009,2(5):408-413.(in Chinese)

[15] 李言谨,何力,杨建荣,等.碲镉汞红外焦平面器件热失配应力研究[J].红外与毫米波学报,2008,27(6):409-412.
LI Y J, HE L, YANG J R,*et al*.. Study on thermal mismatch stress of HgCdTe infrared focal plane array[J]. *Infrared Millim. Waves*,2008,27(6):409-412.(in Chinese)

徐勤飞(1983—),女,山东临沂人,博士研究生,副研究员,主要从事红外探测器件工艺技术、器件性能测试和封装技术方面的研究。E-mail:xu5178@163.com

向您推荐《液晶与显示》期刊

- 中文核心期刊
- 中国液晶学科和显示技术领域的综合性专业学术期刊
- 中国物理学会液晶分会会刊、中国光学光电子行业协会液晶分会会刊
- 英国《科学文摘》(INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、"中国科技论文统计源期刊"等 20 余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊

《液晶与显示》以材料物理和化学、器件制备技术及器件物理、器件驱动与控制、成像技术与图像处理等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域中最新理论研究、科研成果和创新技术,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态,是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果,进行国际交流的平台。其内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,是我国专业学术期刊发行量最大的刊物之一。

《液晶与显示》征集有关液晶聚合物、胶体等软物质材料和各类显示材料及制备方法、液晶物理、液晶非线性光学、生物液晶;液晶显示、等离子体显示、发光二极管显示、电致发光显示、场发射显示、3D 显示、微显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他新型显示等各类显示器件物理和制作技术;各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用;显示材料和器件的测试方法与技术;各类显示器件的应用;与显示相关的成像技术与图像处理等研究论文。

《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿和订阅。

地 址:长春市东南湖大路 3888 号
《液晶与显示》编辑部
邮 编:130033
电 话:(0431)6176059
E-mail:yjyxs@126.com

国内统一刊号:CN 22-1259/O4
国际标准刊号:ISSN 1007-2780
国内邮发代号:12-203
国内定价:50 元/期
网　　址:www.yjyxs.com