

文章编号:1001-5078(2007)增刊-0941-03

碲镉汞红外探测器高低温循环特性研究

任 仁^{1,2}, 吴礼刚^{1,2}, 王小坤¹, 李向阳¹, 朱三根¹, 龚海梅¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所传感器技术国家重点实验室, 上海 200083; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 由于卫星长寿命的要求与机械制冷机有限寿命的矛盾, 制冷机必须采用间歇式工作模式, 因此星载碲镉汞红外探测器在太空中工作会经受从常温(20℃)到低温(-173℃以下)的成千上万次的温度循环, 这给红外探测器带来了新的可靠性问题。本文介绍了自主研发的高低温循环试验系统, 液氮致冷, 温度循环范围为 295K 到 100K。利用试验系统对两种型号的红外探测器组件进行了温度循环试验可靠性研究, 测试和统计了循环试验前后的电阻、信号和噪声变化, 针对具体试验结果做了分析和解释, 为器件的工艺研发和改进提供了参考。

关键词: 碲镉汞探测器; 高低温循环; 可靠性

中图分类号: TN215; TN316 **文献标识码:** A

Study on the Thermal Cycle Characteristic of HgCdTe Detector

REN Ren^{1,2}, WU Li-gang^{1,2}, WANG Xiao-kun¹, LI Xiang-yang¹, ZHU San-gen¹, GONG Hai-mei¹

(1. State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract: The conflict of longevity of satellites service and limited life of Sterling coolers decides that coolers should work on the intermittent mode in space. As a result, detectors in satellite are commonly subjected to thousands of repeated thermal cycles from below -173℃ to room temperature (20℃), which brings new reliability problems. This paper introduced a new thermal cycle automatic system, detector was cooled by liquid N₂, temperature range was 295K to 100K. Reliability of two types of detector was studied with this equipment. Resistance, signal and noise were measured and summarized before and after experiment. The results were analyzed and explained. It would be referenced for the fabrication of detectors.

Key words: HgCdTe detector; thermal cycle; reliability

1 引 言

在一些航天应用中, 航天遥感红外探测通常采用深低温工作的红外探测器, 以达到高的信噪比。当前的一些星载红外遥感设备利用斯特林制冷机制冷红外探测器并采用开关机的工作方式。这样, 随着制冷机的开关机, 红外探测器就会经历从近室温到工作点($\approx -173^\circ\text{C}$)的温度交变。根据卫星运行的特点以及制冷机开关机的情况, 可以估算, 红外探测器在极端情况下会经受成千上万次从 -173°C 以下到常温的温度循环过程。由于探测器内部邻接的材料热膨胀系数不可能完全匹配, 所以高低温循环会给器件带来较大的热应力和热冲击, 这样, 红外探测器潜在的缺陷会随着温度循环次数的增加而最终

变为故障。

环境应力筛选是通过向元器件产品施加合理的环境应力, 迫使元器件中存在的潜在缺陷在最短的时间内变成故障, 并加以发现和排除的过程。由于其是借助环境应力的激发作用, 将元器件本应在交付后才发生的故障, “提前”到交付前发生, 并加以排除, 因此通过环境应力筛选可以大大提高交付元器件的可靠性。国内外的大量实践证明, 温度循环的筛选强度强于其他筛选方式, 如图 1 所示, 温度循环所激发的故障数占环境应力筛选总故障数的一半

作者简介: 任 仁 (1982 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为 HgCdTe 探测器相关特性。E-mail: gloryren@126.com

收稿日期: 2007-06-19

以上^[1-2]。为了对航天用红外探测器进行温度循环筛选并研究温度循环对器件可靠性的影响,有必要在地面对器件进行温度循环试验。通过对元器件的高低温循环试验,可以考核现有成型的和将要发展采用的制作工艺在高低温循环下的可靠性,对不能满足高低温循环可靠性要求的工艺予以改进。

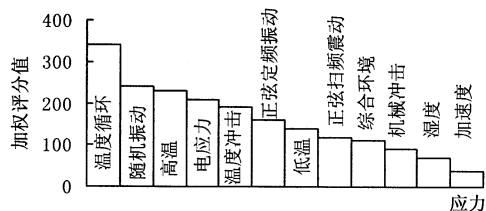


图1 筛选强度

本文介绍了自行研制的用于航天红外探测器高低温循环试验的试验系统,并根据航天红外探测器的可靠性要求和工程需要,使用试验系统对两种型号的碲镉汞红外探测器组件进行了温度循环实验,由此对碲镉汞红外探测器组件的温度循环可靠性开展研究。

2 温度循环试验设备

本系统基于热传导方式工作,设计了低温(液氮子缸)和高温(加热台)两个温度环境^[3],系统原理图如图2所示。待考核器件安装在传热台上,传热台被步进电机带动在高低温环境间往返运动,通过热传导使得所载器件实现温度循环。控制系统根据传热台的温度发出启/停、正反转、步进脉冲等控制信号通过驱动器驱动步进电机动作。同时,由于热交换,液氮子缸中的液氮将会因挥发而减少。为补充减少的液氮,在子缸中设置温度传感电路探知液面位置,当液氮耗尽时将启动自动输液控制从母缸向子缸输送液氮,当子缸加满时,停止加液氮。加热台的加热由单独的PID温控装置实现。系统可以实现77~300K温度范围内的温度循环。

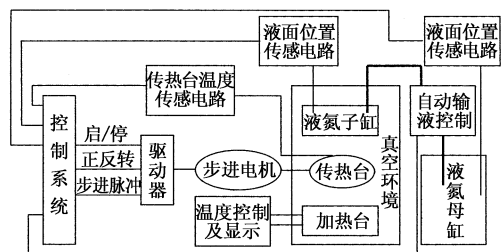


图2 高低温循环系统原理图

3 温度循环试验

3.1 试验条件

使用自制的温度循环试验系统对两个型号的探测器组件进行了温度循环试验,型号A探测器进行了5000次循环,型号B探测器进行了600次循环。

试验前后均对器件的电阻、信号和噪声进行了测试和统计。

在进行温度循环试验时必须确定如下试验参数:上限温度、下限温度、升温速率、降温速率、上限保温时间和下限保温时间。上限温度取决于卫星内红外探测器在不工作时的环境温度。一般来说,星体内环境温度在300K左右。下限温度取决于红外探测器的工作温度。温度对红外探测器的性能指标影响很大,根据卫星总体对红外探测器的性能指标要求,选择合适的工作温度点,本项目的红外探测器温度选择在100K。一般来说,较高的温变速率能提供更有效的考核,但实际上施加的温度应力要在试验组件上产生温度响应才有效果。结合试验系统和试验需要,试验的升降温时间都和器件星上状态相仿。温度循环时,上下限温度保持一段时间的目的是令参与考核的探测器在特定温度充分浸泡,使缺陷处的应力作用累积到一定程度,以便潜在缺陷在有限的循环内能尽快析出,因此,温度保持时间的长短对温度循环试验具有重要的意义。综合以上因素,最终选取温度循环剖面,如图3所示。

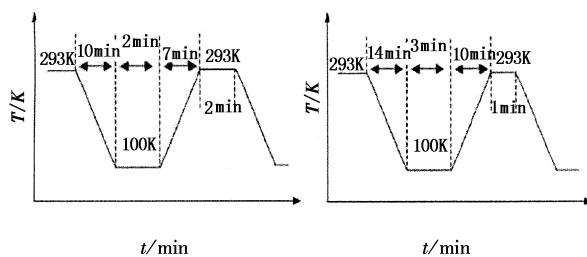


图3 温度循环剖面图

3.2 实验结果与讨论

3.2.1 红外探测器组件A

a) 组件A为8元光导器件,图4为8个像元试验前后的电阻变化,经过5000次温度循环后,低温电阻值变化幅度在6.5%以内,表明电阻值基本稳定。

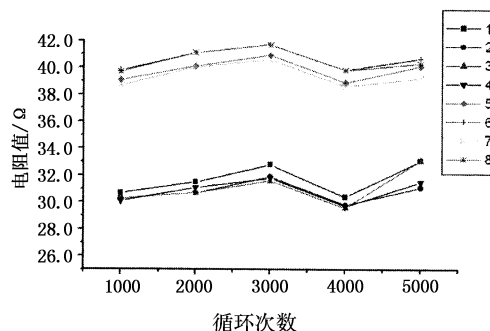


图4 试验前后电阻值

b) 1000次温度循环后将红外探测器组件取出并进行信号测试,发现有3个像元的信号明显增加,

其余像元的信号有不同程度衰减,如表 1 所示。

表 1 信号变化

芯片序号	信号/ μV		芯片序号	信号/ μV	
	循环前	循环后		循环前	循环后
1	400	1100	5	510	450
2	640	440	6	550	480
3	500	400	7	700	1000
4	500	440	8	400	1100

I) 针对信号增加的 3 元,通过光谱响应测试发现,循环后的光谱响应波段较之前展宽,说明像元对滤光片透射过来更宽波段范围的光有响应是信号增大的原因。分析信号变大像元的位置,均是在滤光片与柯伐支撑胶结的附近。推测热应力导致滤光片膜层脱落或开裂,使透过的波段变宽。膜层脱落或裂开的最可能原因是滤光片两端涂有低温胶,固化后的低温胶和滤光片表面膜层膨胀系数不匹配造成的。典型的一元循环前后的光谱响应曲线如图 5 和图 6 所示。

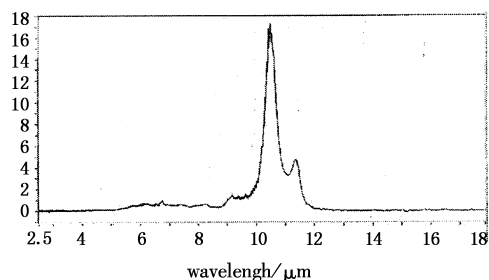


图 5 循环前光谱响应

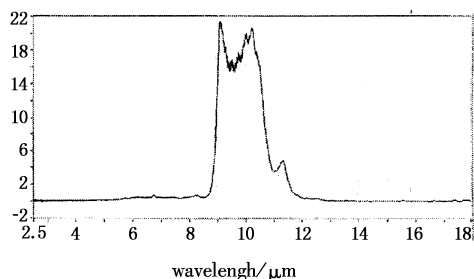


图 6 循环后光谱响应

II) 针对其他 5 元的信号衰减现象,将探测器芯片解剖出,清洗后在液氮杜瓦内利用黑体测试,发现与实验前的黑体测试数据相差在 5% 内,说明在长时间试验过程中,试验设备真空度降低,对探测器有轻微污染,从而导致信号衰减,而非探测器自身性能降低。

c) 5000 次循环后测试,发现大部分像元相对于循环前信号没有发生变化,少部分信号衰减,其下降幅度类似表 1 中的 5 元信号的情形,这是由于试验系统污染导致。

3.2.2 红外探测器组件 B

红外探测器组件 B 的前 10 元为长波器件,后 20 元为中波器件。图 7 和 8 是 600 次的温度循环试验后,组件 B 的电阻值和探测率的变化,结果显示变化幅度很小,说明此组件可以经受 600 次的温度循环考核。

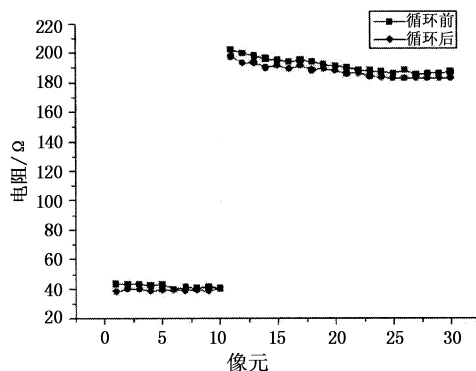


图 7 电阻值变化

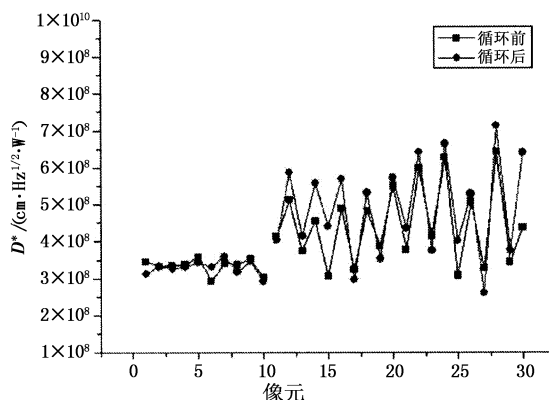


图 8 探测率变化

4 结 论

使用自主研发的高低温循环试验系统对两个型号的红外探测器组件进行了高低温循环试验,测试和统计了试验前后器件的性能参数。探测器的电阻值没有明显变化,发现其中一个型号的红外探测器有部分像元信号增大,光谱响应曲线表明存在红外低温微型滤光片的膜层脱落现象。另一个型号的探测器经 600 次温度循环后探测率没有明显变化,说明此组件可以经受 600 次的温度循环考核。

参考文献:

- [1] 梁雪仪. 温度循环筛选剖面的裁减方法[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2002, (5): 35-38.
- [2] 王蕴辉, 姜小波. 国外碲镉汞红外探测器杜瓦组件可靠性研究进展[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 1999, (6): 8-11.
- [3] 吴礼刚, 任仁, 朱三根, 等. 基于 LabVIEW 的低温半导体器件温度循环系统[J]. 半导体光电, 2006, 4: 445-447.