

文章编号: 1672-8785(2020)10-0020-05

红外探测器光谱一致性 测试方法研究

刘建伟 李进武 封 雪 王 亮 李 娟

(中国电子科技集团公司第十一研究所, 北京 100015)

摘 要: 红外焦平面探测器的光谱一致性是评价材料制备水平的重要参数之一。探测器材料因制备工艺的不同而存在差异。由于光谱仪光斑尺寸的限制、探测器杜瓦结构的局限性以及设备采集光谱的巨大数据量, 难以对探测器组件的光谱一致性进行测试分析。为此提出了一种新方法, 即选取用传统工艺和优化工艺制备的两种探测器样品, 并选取成像图中与工艺相关的多个明暗特征区域, 再测试这些区域的光谱曲线并对其进行分析汇总, 然后通过比较光谱最大差异来评判探测器光谱一致性的优劣。该方法测得两种探测器特征区域的光谱最大差异分别为 $1.21\ \mu\text{m}$ 和 $0.30\ \mu\text{m}$ 。测试结果表明, 优化工艺后的光谱一致性优于传统工艺。

关键词: 红外探测器; 光谱一致性; 图像特征区域

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.10.003

Research on Spectral Consistency Test Method of Infrared Detector

LIU Jian-wei, LI Jin-wu, FENG Xue, WANG Liang, LI Juan

(The Eleventh Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100015, China)

Abstract: The spectral consistency of infrared focal plane detector is one of the important parameters to evaluate the level of material preparation. The detector materials are different because of different preparation processes. Due to the limitations of the speckle size of the spectrometer and the dewar structure of the detector, as well as the huge amount of spectral data collected by the device, it is difficult to test and analyze the detector components. A new method is proposed in this paper. Two detector samples prepared by traditional and optimized process are selected, and multiple light and dark feature regions in the images related to the process are chosen. Then the spectral curves of these regions are tested, analyzed and summarized. And the maximum spectral differences are compared to judge the spectral consistency. The maximum spectral difference of the two materials are $1.21\ \mu\text{m}$ and $0.30\ \mu\text{m}$. The results show that the spectral consistency of the optimized process is better than that of the traditional process.

Key words: infrared detector; spectral consistency; image feature region

收稿日期: 2020-07-09

作者简介: 刘建伟(1977-), 男, 北京人, 工程师, 主要从事红外探测器测试工作。

E-mail: ljw780522@163.com

0 引言

随着红外探测技术的飞速发展, 红外探测器在卫星图像、红外制导跟踪、红外遥感、红外测温等技术中应用广泛。红外焦平面探测器逐年向高分辨率、高灵敏度方向发展, 其阵列规模逐年增大, 且对单片材料的一致性要求越来越高。检测阵列中各像元的指标差异逐渐成为表征探测器性能优劣的重要环节^[1]。在光谱一致性方面, 用不同工艺方法制备的 HgCdTe 材料的特性存在差异。因此, 如何通过光谱测试来表征材料一致性是我们亟待解决的问题。一般方法是在对探测器的全面阵光谱数据进行分析后才能得到想要的结果。此时需要对杜瓦结构进行必要的优化, 并且对探测器的冷光阑也提出了更高的要求。此外, 从光谱仪的数据处理能力方面考虑, 采集的巨大数据量容易导致数据处理失败。因此, 我们提出一种便于测试分析的光谱一致性测试方法。

1 测试系统

1.1 光谱仪的选择

光谱一致性测试采用傅里叶光谱仪, 它与分光光谱仪不同, 是在对红外光进行干涉后利用傅里叶变换原理开发的红外光谱仪, 主要由红外光源、干涉仪、检测器、样品室、光阑、各类红外反射镜、控制电路板、激光器以及电源组成。它在进行光谱一致性测量时具有以下优势:

(1) 信噪比高。由于光学元件少, 光的损耗低, 并且通过干涉进一步增强了光信号, 因

此检测器接收到的辐射强度大, 且信噪比高。这有利于提高光谱一致性测试的准确性。

(2) 重复性好。利用傅里叶变换来处理光信号, 有效避免了机械调节光栅分光时产生的误差, 并且避免了多点反复测试时光谱仪重复性所带来的测量误差。

(3) 扫描速度快。傅里叶光谱仪可对整个波段进行采集, 采集后的光谱数据是多次数据平均后的结果, 且单次采集所需的时间只有几秒钟。而分光光谱仪只能在某一时刻测试窄频带范围数据, 完成一次数据采集需要十几或几十分钟。傅里叶光谱仪的这一特点在需要采集多区域多像元的焦平面探测器中优势明显。

1.2 测试系统构成

测试系统由成像计算机、脉冲发生器、驱动电路、光谱测试计算机以及傅里叶光谱仪组成(见图 1)。其中, 成像计算机有以下两个用途:

(1) 编制探测器读出电路所需的脉冲信号, 并通过脉冲发生器将其发送给驱动电路板, 并将脉冲信号与偏置电压一同提供给红外探测器。脉冲发生器同步将参考时钟和触发信号发送给光谱测试计算机, 使其用于光谱数据的采集。

(2) 采集红外探测器的输出信号和生成图像, 并结合光谱仪的光斑调节来获取采集区域坐标。

光谱测试计算机用于傅里叶光谱仪的控制以及探测器光谱数据的采集、分析计算和

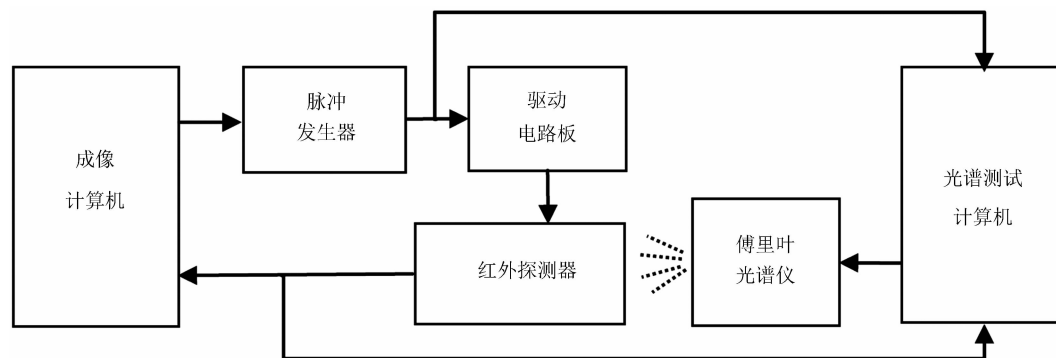


图 1 光谱测试系统框图

存储。

1.3 测试过程

首先,成像计算机将编制好的数字脉冲信号发送到脉冲信号发生器,后者发出脉冲信号给驱动电路。该电路产生驱动电压,并将脉冲信号和偏置电压提供给红外探测器,另外还将帧脉冲和主频脉冲信号提供给光谱测试计算机进行同步和采集。探测器输出的模拟信号同时传入成像计算机和光谱测试计算机,以便实时监控图像和采集光谱曲线。采集完成后,利用光谱分析软件对光谱数据进行解析和变换,最终形成所需的光谱曲线。

1.3.1 通常情况下的光谱一致性测试

在通常情况下,若要分析某一探测器全面阵像元的光谱一致性,则需将光谱仪光斑照射器件的所有区域,并提取光谱曲线进行处理。这个过程存在以下几个问题:

(1)光谱仪光斑在有效距离内不能覆盖探测器的全部像元,无法一次全取整个阵列光谱;

(2)探测器杜瓦结构的局限性会造成全面阵像元接收光能量的不一致性(尤其是边缘区域);

(3)在用光谱分析软件解析光谱曲线时,采集后的巨大数据量容易导致数据处理失败。

基于以上这些问题,我们改进了测试方法,并实现了光谱一致性测试。

2 光谱一致性测试

2.1 光谱一致性测试方法的确立

我们选取成像电平图中有代表性的几个特征区域,并将同光源、相同直径的光斑照射到以上特征区域。然后在测试图像中读取该区域的坐标位置,并通过计算确定光谱仪中所对应的数据位置。在剔除各类盲元等非正常光谱曲线后,对光谱曲线进行分析汇总,从而得到特征区域的多条光谱曲线。通过观察不同区域中的光谱最大差异来评判探测器整个阵列光谱一致性的优劣。

我们采用此方法对用两种工艺材料制备的探测器进行了对比分析,得到了两者的光谱差异,并将其用于评判两种工艺对探测器光谱一致性方面的影响。

2.2 典型工艺材料组件的选取

我们选取的探测器测试样品分别采用传统的和优化的材料制备工艺。

由于过冷式液相外延生长工艺自身的特点,用传统工艺制备的材料表面会形成生长波纹^[2]。生长波纹的存在破坏了外延薄膜表面的平整度,会严重影响后道加工工艺。在电平图中,信号的非均匀性随电平值差异显现出来。此类差异属于由局部非光学因素造成的明暗变化,表现在组件成像上就是底纹现象。

优化后的工艺通过精确控制 HgCdTe 生长参数和条件来尽可能地减小材料生长波纹的起

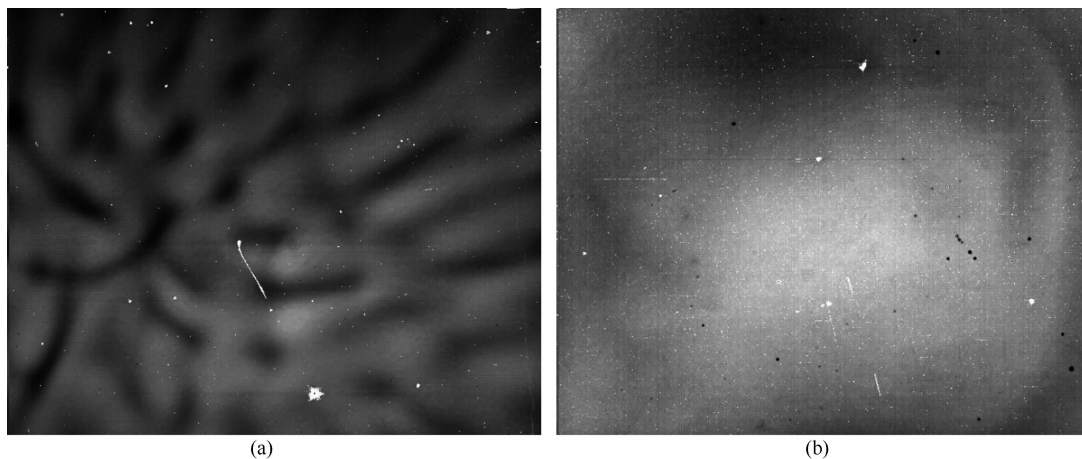


图 2 (a)用传统工艺制备的探测器的图像;(b)优化工艺后的探测器图像

伏程度,表现在组件成像上就是底纹现象的明显消除。两种工艺组件的成像电平图分别如图 2(a)和图 2(b)所示。

试验选取了用两种材料工艺制备的探测器,并利用本文方法对其光谱一致性进行了分析和评价。

2.3 特征区域选取及光谱数据采集

通过测试系统得到了分别采用传统工艺和优化工艺制备的 640×512 甚长波红外探测器的图像,选取图像中的明暗及过渡区域作为特征区域,并记录了坐标位置(见图 3)。调节傅里叶光谱仪的光斑直径,并对特征区域块进行光谱数据采集。

2.4 光谱一致性评价

将上述两种探测器的特征区域标记出来,并通过计算将其与光谱仪采集的像元位置对应起来。然后对图像中各个位置的若干条光谱曲

线进行同条件解析和归一化处理,并将其显示在同一光谱曲线图上(见图 4)。选取光谱 50% 截止波长处作为判别标准,得到了两种探测器图像特征区域的光谱范围和最大光谱差异。

3 结果分析

从图 3 中可以看出,用传统工艺制备的探测器存在严重的底纹现象,而工艺改进后则大大减少了这种底纹。我们选取的明暗区间具有一定的代表性,其电压响应呈现出高低起伏状态。这种响应电压的不一致性是由多方面因素造成的,比如各像元的量子效率差异、阻抗差异、占空比差异以及本文提到的光谱一致性差异。其中,光谱一致性差异在我们的测试结果中得到了验证。由测试数据可知,传统工艺材料特征区域的光谱最大差异为 $1.21 \mu\text{m}$,优化工艺材料特征区域的光谱最大差异为 $0.30 \mu\text{m}$ 。测试结果表明,两种工艺对探测器的

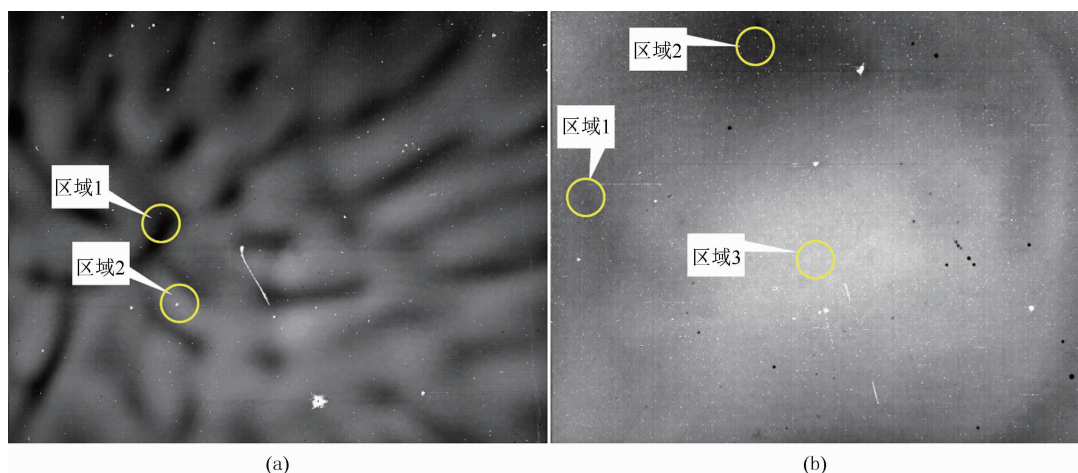


图 3 (a)用传统工艺制备的探测器的图像特征区域;(b)用优化工艺制备的探测器的图像特征区域

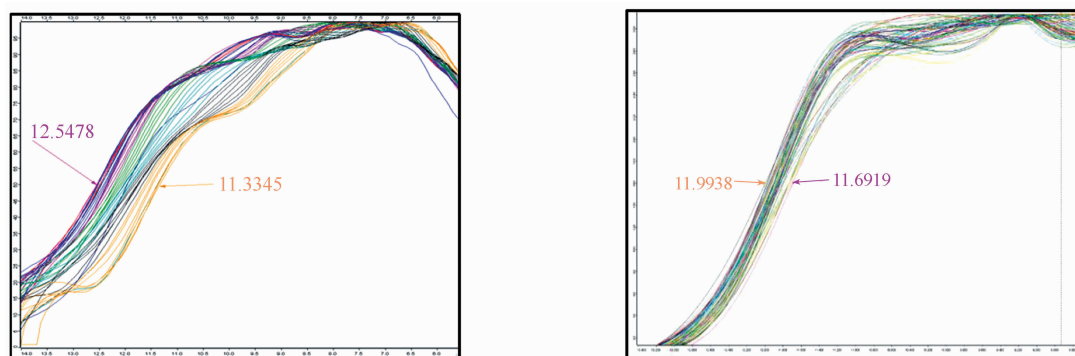


图 4 特征区域光谱图:(a)传统工艺(区域 1、2 合并);(b)优化工艺(区域 1、2、3 合并)

表 1 两种探测器图像的特征区域光谱

	传统工艺	优化工艺
特征区域的光谱范围/ μm	11.33~12.54	11.69~11.99
特征区域的光谱最大差异/ μm	1.21	0.30

光谱一致性影响较大,且优化工艺在该方面优于传统工艺。这一结果符合工艺优化试验的最终目标。

4 总结

本文选取成像电平图中的特征区域,然后对该区域的光谱曲线进行了分析汇总,得到了特征区域光谱的曲线范围及最大差异,并由此来评判整个探测器面阵光谱一致性的优劣。另外还利用此方法对工艺线上两种主流材料探测器的光谱一致性进行了对比分析,得到了两种工艺对探测器光谱一致性影响较大的结论,进而确定了工艺优化的有效性。这种光谱一致性测试方法的建立可以正向反馈材料制备工艺对探测器光谱一致性的影响,意义重大。目前,

焦平面探测器光谱一致性分析方法还处于摸索阶段,针对多种材料、多种谱段探测器的光谱一致性和谱段串扰分析将是我们以后更深一步的研究方向。

参考文献

- [1] 叶振华,周文洪,胡伟达,等. 碲镉汞红外双色探测器响应光谱研究 [J]. *红外与毫米波学报*, 2009, **28**(1): 4-7.
- [2] 李春领,王春红,秦艳红. 碲镉汞材料双面平坦化工艺研究 [J]. *激光与红外*, 2017, **47**(8): 992-995.
- [3] 陆慧庆,胡晓宁,方家熊. 用红外反射光谱研究离子束作用后碲镉汞的表面形貌 [J]. *红外与激光工程*, 1998, **27**(6): 52-55.
- [44] Huang Z, Chen S, Lv C, et al. Infrared Characteristics of VO_2 Thin Films for Smart Window and Laser Protection Applications [J]. *Applied Physics Letters*, 2012, **101**(19): 191-905.
- [45] Huang Z, Chen S, Chen Y, et al. Low Transition-temperature Characteristic in VO_x Films Grown on Si_3N_4 /Glass Substrates [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2012, **207**: 130-134.
- [46] Wang B. Vanadium Oxide Microbolometer with Gold Black Absorbing Layer [J]. *Optical Engineering*, 2012, **51**(7): 074003.
- [47] 王宏臣. 氧化钒薄膜及非致冷红外探测器阵列研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [48] Lohrmann D, Littleton R, Reese C, et al. Uncooled Long-wave Infrared Small Pixel Focal Plane Array and System Challenges [J]. *Optical Engineering*, 2013, **52**(6): 061305.
- [49] Dumont G, Rabaud W, Baillin X, et al. Pixel Level Packaging for Uncooled IRFPA [C]. *SPIE*, 2011, **8012**: 801211.

(上接第 14 页)