

## 资源遥感用红外多谱段探测器组件性能探讨

翟文生

(天津航技术物理研究所,天津 300192)

**摘要:**资源遥感对红外探测器有较高的要求,如高探测率、高可靠性、低功耗、多谱段、探测率均匀性好、探测器元间串音小、可在较高温度下工作等。从工程应用的角度出发,将滤光片、红外探测器和前置放大器视为一个组件,考虑三者间的相互影响,对组件的主要性能指标和评测方法进行了论述,提出了探测器组件设计和测试时需要注意的问题。在实际工作中,根据系统要求,正确理解性能参数的含义,从应用的角度提出合理的测试评价方法,对推动红外探测器的应用具有重要意义。

**关键词:**红外探测器; 遥感; 测试; 性能

**中图分类号:** TN21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)01-0008-03

## Discussion on infrared detectors assembly's performance for resources remote sensing

ZHAI Wen-sheng

(Tianjin Jinhang Technical Physics Institute, Tianjin 300192, China)

**Abstract:** The high demand is applied to the infrared detectors for resources remote sensing, such as high detectivity, high reliability, low power, multi-waveband, good uniformity of detectivity. The assembly usually consists of filters, infrared detectors and pre-amplifiers. The main parameters of the assembly for remote sensing applications are discussed in this paper. Some problems are thought over in the assembly designing and testing. In detector applications, it is very important that specific meaning of assembly parameters and reasonable testing methods are very important.

**Key words:** Infrared detectors; Remote sensing; Testing; Performance

### 0 引言

为了有效地获得地面资源的特征信息,在地球资源探测中,需要对地面目标进行多光谱成像分析。因此,在遥感卫星中,通常将多光谱扫描仪作为信息获取的有效载荷。多光谱扫描仪要用到多个谱段的红外探测器组件。在太空中应用,由于条件特殊,对红外探

测器性能要求较高。

在红外探测器的应用过程中,常遇到探测器单独测试时性能很高,而实际应用时不够理想。这其中除了受应用条件限制外,还存在探测器使用和对个别参数理解的问题。本文从红外探测器制备和系统应用两方面出发,对表征遥感用红外探测器组件性能的主要参数进行了探讨。

收稿日期:2004-10-25; 修订日期:2004-12-01

作者简介:翟文生(1964-),男,河南永城人,高级工程师,研究方向为光电探测器技术。

## 1 资源遥感用红外探测器的特点

为了提高卫星的使用寿命,资源遥感一般都是在距离地面六七百千米的太空轨道,对地面进行多光谱成像。成像系统要求红外探测器具有组件探测率高、多谱段、功耗低、探测率均匀性好、探测器元间串音小、调制传递函数(MTF)高、可在较高温度下工作、可靠性高等特点。

资源遥感探测是在高空对地面物体自身的红外辐射或地面物体对阳光的反射光进行探测。为得到物体的特征信息,把每个谱段带宽划分得很窄,因此,探测器在波段内接收到的辐射能量比较小,要求探测器组件有足够高的响应度和极低的噪声,才能分辨地面目标。为了达到高性能,红外探测器常在低温下工作。目前卫星上采用的制冷器多数为辐射制冷器,其制冷能力较弱,要求红外探测器在尽量不降低性能的前提下,能在比较高的温度下工作,并且探测器功耗越低越好。在太空中应用,无法修复故障件,组件设计时应采用可靠性高的方案。探测率均匀性、串扰和MTF都是与成像质量密切相关的参数。

## 2 探测器组件的主要性能参数

目前的红外探测器基本上都达到了较高的性能水平,为了使其在系统中很好地发挥作用,不能只注重探测器性能,还要和滤光片、前置放大器组成一个组件,并测试组件的性能参数。这样不仅能充分地反映系统对探测器的要求,也能使探测器工作在最佳条件下,发挥其最佳性能。系统应用时,注重的是组件的整体参数。

### 2.1 探测器组件波段响应度

探测器组件波段响应度定义<sup>[1]</sup>如下:

$$R_{\Delta\lambda} = V/P_{\Delta\lambda} \quad (1)$$

式中  $V$  为组件输出信号电压; $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  分别为组件响应的起始波长和截止波长; $P_{\Delta\lambda}$  为探测器组件接收的在  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  波段内的黑体辐射能量。

为了探测目标特性,遥感用探测器组件常常是窄波段应用(如美国的陆地卫星红外谱段为:0.76~0.9  $\mu\text{m}$ ,1.55~1.75  $\mu\text{m}$ ,2.08~2.35  $\mu\text{m}$ ,10.4~12.5  $\mu\text{m}$

),在设计 and 测试组件时,应综合考虑探测器的响应和滤光片的透过率。如用硅做0.76~0.9  $\mu\text{m}$ 波段的探测器,滤光片就可做成长波通的。如用锗等材料制备该波段探测器,滤光片只能做成带通的才能满足要求。

### 2.2 探测器组件波段探测率

20世纪90年代初,方家熊等人提出波段探测率的概念<sup>[1]</sup>来描述空间遥感窄波段应用探测器的性能,定义如下:

$$D_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_b(\lambda) D_{\lambda}^* d\lambda / \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_b(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

在计算探测器探测率时,通常是在一定的频率下(如1 kHz),测量一窄频带带宽内的噪声。而在实际应用中,系统关心的是较宽频带下的噪声。探测器和前置放大器匹配后,其噪声频谱往往会发生变化,或是低频噪声高,或是高频噪声高。在计算组件波段探测率时,噪声测量应能够反应组件带宽内的总噪声。一般光导型探测器1/f噪声大一些,可以通过改善探测器表面钝化工艺使其降低;光伏型探测器阻抗高,受杂散电容的影响,组件高频噪声升高,可以通过选择低噪声、宽频带的放大器加以解决。

### 2.3 探测器组件光谱响应波段

光谱响应波段是指对应于各波长的入射辐射,探测器组件的响应波长范围。一般在系统要求的波段  $\lambda_1$ - $\lambda_2$  内具有响应信号,响应波段范围由滤光片透过率和探测器响应的乘积决定。 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  分别是带通响应峰值50%处所对应的起始波长和截止波长。通常系统还对波段内响应的起伏提出要求。对于遥感应应用,可能由多个波段的探测器和微滤光片组成一个组件。设计时,要求滤光片在非透光波段的截止要好,各波段间设置遮光光阑,防止波段间的光串。

### 2.4 探测器组件频率响应带宽

当入射辐射的调制频率增加时,探测器组件的响应将会下降,当响应下降到低频响应的0.707倍(3 dB)时,所对应的调制频率定义为截止频率。从起始频率到截止频率间的频带宽度即为组件频率响应带宽。在响应频带内,要求响应曲线尽量平直。一般情况下,放大器和探测器匹配后,放大器的带宽将会发生变化。测量探测器组件频率响应带宽应使用变频调制光法测量。

## 2.5 探测器组件响应的线性度

通常用非线性度来表示响应对理想线性的偏差,对于给定范围内的人射辐射量,得到一组响应输出值与人射辐射值之比,用与平均值的最大相对偏差来表示其响应的非线性度  $\eta$ :

$$\eta = (\sigma_{\max} / \bar{R}) 100\% \quad (3)$$

式中  $\sigma_{\max} = \max[|R_i - \bar{R}|]$ ;  $\bar{R} = \left( \sum_{i=1}^N R_i \right) / N$ 。

探测器的偏置、串联电阻、运放电压值、响应速度、漂移等因素都对组件响应的线性有影响。

## 2.6 探测率不均匀性

探测率的不均匀性一般用所有探测通道探测率的相对均方偏差来衡量:

$$\eta = (\sigma / \bar{D}) 100\% \quad (4)$$

式中  $\sigma = \left[ \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2 / (N-1) \right]^{1/2}$ ;  $\bar{D} = \sum_{i=1}^N D_i / N$ 。

通常,如果探测器的噪声比放大器的低得多,可以只考虑探测器组件响应的不均匀性,并且探测器组件响应的不均匀性可通过前置放大器的放大倍数适当调整。

## 2.7 通道间串音

串音是指其他通道(元)信号耦合到该通道(元)上的信号占该通道(元)信号的百分比。通常由光串和电串两部分组成,串音大小和组件中的滤光片、光阑、探测器结构以及放大器通道间的耦合等因素有关。精确地测量探测器组件的串音,存在一定的困难。通常采用小光点来测量。只从探测器结构上看,光导型探测器的串音比光伏型探测器要小一些。

## 2.8 探测器光敏元尺寸

对成像用探测器的光敏面尺寸通常有较严格的要求,并要求光敏面内响应均匀,光敏面外无响应。由于少数载流子扩散长度的影响,光敏面的几何尺寸和响应面的有效尺寸往往有一定的出入,工艺上可采取遮挡等措施来保证其一一致性。通常用小光点来测量光敏面的有效尺寸。当光敏面尺寸较小时,测量其有效尺寸也存在一定的困难。

## 2.9 光敏面至管壳安装底面尺寸

对于成像用探测器,该尺寸是系统调焦时用到的一个重要参数。同时还应给出滤光片的厚度  $d$  和折射

率的参数。由于加入滤光片,光程发生变化,焦距将偏移<sup>[2]</sup> $\Delta f$ :

$$\Delta f = ((n_2 - n_1) / n_2) d \quad (5)$$

式中  $n_2$  为滤光片的折射率; $n_1$  为周围介质的折射率,当周围介质为空气时,其值为 1; $d$  为滤光片厚度。

在应用中,该尺寸直接影响着探测器信号的大小和系统成像质量。

## 2.10 探测器偏压(偏流)

为得到最佳的探测器性能,需要加适当的偏置电压或电流。偏置电压或电流会对探测器的信噪比、线性度、电容和功耗等参数产生影响。从低功耗角度来看,光伏型探测器要比光导型探测器优越,光伏型探测器可以在零偏压下工作。

## 2.11 调制传递函数

为了评价得到的光学图像,常用到由线性滤波理论得到的光学传递函数的概念。光学传递函数是点扩散函数或线扩散函数的傅里叶变换,其模数称为调制传递函数。对于成像用探测器而言,其调制传递函数  $M$  主要由空间调制传递函数  $M_k(f_k)$  和时间传递函数  $M_s(f_s)$  两部分组成<sup>[3]</sup>。空间调制传递函数可表示为:

$$M_k(f_k) = (\sin(\pi a f_k)) / \pi a f_k \quad (6)$$

式中  $f_k$  为空间频率; $a$  为探测器光敏面尺寸。

时间调制传递函数可表示为:

$$M_s(f_s) = [1 + (2\pi\tau_s f_s)^2]^{-1/2} \quad (7)$$

式中  $\tau_s$  为探测器的时间常数; $f_s$  为时间频率。

在低频应用时,时间频率和空间频率关系如下:

$$f_s \tau_s = f_k a \quad (8)$$

式中  $\tau_s$  为辐射扫描一个宽度为  $a$  的光敏元的时间。在设计成像系统时,探测器光敏面尺寸不应大于系统最大空间频率的倒数。当把探测器和前置放大器作为一组件时, $\tau_s$  为组件的时间常数。对于光子探测器,其时间常数很小,一般只考虑空间传递函数。当空间频率为光敏面尺寸倒数的一半时,空间调制传递函数为 0.637。但是当放大器设计不合适时,组件的时间常数加大,组件总的 MTF 将降低。组件的 MTF 和探测器的电容、光敏面有效尺寸、探测器 (下转第 30 页)

中含有  $V_2O_5$ , 但是却没有  $V_2O_3$  的衍射。这说明该薄膜中一定含有  $V_2O_5$  相, 有可能含有  $V_2O_3$  相。因为在衍射谱底部发现一些宽峰, 一般来说, 它们对应着一些非晶体。其中可能也分布有少量的  $V_2O_3$ , 因为这些宽的峰覆盖着衍射峰的位置。

### 3 结论

通过以上 9 组样品的分析和比较发现, 在此工艺中,  $O_2$  分压、退火温度、退火时间是影响薄膜性能的主要参量。实验证明, 通过控制工艺参数, 可以制备出相变点更接近室温的薄膜, 也是除了掺杂法<sup>[4]</sup>以外, 另外一种有效降低相变温度的工艺。通过电学测试发现, 在 35℃ 左右这种薄膜发生相变, 光学的透过率实验也证实了这种特性。通过 XRD 分析表明, 这种薄膜至少是  $VO_2$  和  $V_2O_5$  的混合相。

#### 参考文献:

[1] Morin F J. Oxide which show a metal-to-insulator at the neel

temperature[J]. Phys Review Letter, 1959, 3: 34-36.

- [2] Chen S, Yi X, Ma H, et al. A novel structural  $VO_2$  micro-optical switch[J]. Optical and Quantum Electronics, 2003, 35: 1351-1355.
- [3] Verkelis J. Vanadium oxides thin films and fixed temperature heat sensor with memory[J]. J Sensors and Actuators, 1998, A68: 338-343.
- [4] Beteille F, Livage J. Optical switching in  $VO_2$  thin films[J]. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 1998, 13: 915-921.
- [5] Ramana C V, Hussain O M, Srinivasulu B, et al. Spectroscopic characterization of electron-beam evaporated  $V_2O_5$  thin films[J]. Thin Solid Films, 1997, 305: 219-266.
- [6] Hansen S D, Aita C R. Low temperature reactive sputter deposition of vanadium oxide[J]. J Vac Sci Technol, 1985, A3(3): 660-663.
- [7] Changhong Chen, Xinjian Yi, Jing Zhang et al. Linear uncooled microbolometer array based on  $VO_2$  thin films[J]. Infrared Physics and Technology, 2001, 42(2): 87-90.
- [8] Chain E E. Effect of oxygen in ion-beam sputter deposition of vanadium oxide[J]. J Vac Sci Technol, 1987, A5(4): 1762-1766.
- [9] Case F C. Low temperature deposition of  $VO_2$  thin films[J]. J Vac Sci Technol, 1990, A8(3): 1395-1398.
- [10] 卢勇, 林理彬. 利用制备参数的改变调整  $VO_2$  薄膜的电阻温度系数[J]. 半导体光电, 2001, 22(3): 181-183.
- [11] 卢勇, 林理彬, 邹萍, 等. 制备过程中对  $VO_2$  薄膜热致相变光电性能的控制[J]. 激光杂志, 2000, 21(5): 19-21.

(上接第 10 页)

与前置放大器连线的分布电容、前置放大器带宽和响应速度等因素有关。组件设计时应综合考虑各因素。实际上, 组件调制传递函数是一个比较综合的参数, 它包含了探测器光敏面尺寸、串音、频带、信号响应速度等因素。目前怎样直接精确测量探测器组件的 MTF 还有待进一步探讨。

#### 2.12 可靠性

可靠性是探测器组件的一项重要指标。组件除了要经历发射时的冲击振动、升空以后长时间的工作外, 升空前, 还要在地面完成数十次调试试验。设计时, 要根据组件的调试试验和应用环境条件, 仔细考虑组件结构、性能稳定性和环境适应性等方面, 并进行适当的可靠性试验验证。根据以往的经验, 组件的电性能稳定性比较好, 问题往往出在组件结构上。

### 3 结束语

我国的红外探测器组件成功应用于空间遥感已

有多年历史<sup>[4]</sup>, 走在了其他领域的前面。在实际工作中, 应根据系统应用要求, 正确理解组件性能参数的含义, 研究制定合理的测试评价方法。从应用的角度对探测器组件进行正确测试和评价, 对推动红外探测器应用具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 方家熊, 徐国森, 张林法, 等. 卫星用长波 HgCdTe 探测器的研究[J]. 红外研究, 1990, 9(2): 123-128.
- [2] Robert E Fischer, 吴晓靖, 张振, 宋洪君, 等. 光学系统设计[M]. 天津:《红外与激光工程》编辑部, 2004. 13.
- [3] 科洛勃罗多夫 B T, 舒斯特 N, 周金利, 温宗平, 马天一, 等. 红外热成像[M]. 天津:《红外与激光工程》编辑部, 2000. 113.
- [4] 母国光. 现代光学与光子学的进展[M]. 天津:天津科学技术出版社, 2003. 365.