

文章编号: 1002-2082(2006)SO-0079-04

# HgCdTe 探测器绝对光谱响应度测试技术的研究

范纪红, 杨照金, 秦 艳

(西安应用光学研究所 国防科工委光学计量一级站, 西安 710065)

**摘要:** 随着红外探测技术的发展,对红外探测器的要求越来越高,因此精确测量红外探测器的光谱响应度是非常必要的。对HgCdTe 探测器光谱响应度的测试技术进行了研究。在红外探测器光谱响应度测量装置上,通过腔体热释电探测器相对光谱响应度的自校准完成了HgCdTe 探测器相对光谱响应度的重复测量和标定,并给出测量结果的平均值。用由低温辐射计标定过的硅探测器对该HgCdTe 探测器的绝对光谱响应度进行量值传递,从而实现了HgCdTe 探测器全波段绝对光谱响应度的标定。最后给出影响测量结果的不确定度评定。

**关键词:** 腔体热释电探测器;光谱响应度;HgCdTe 探测器

中图分类号: TN247

文献标志码: A

## Research of test technology for absolute spectral responsivity of HgCdTe detector

FAN Ji-hong, YANG Zhao-jin, QIN Yan

(Optical Metrology Laboratory, Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The spectral responsivity is one of the important parameters of detector. With the development of infrared detection technique, the requirement for infrared detectors becomes higher, so it is necessary to calibrate the absolute spectral responsivity of infrared detectors accurately. The technology to precisely measure the absolute spectral responsivity of HgCdTe detector is investigated. The repeated measurement and calibration for the spectral responsivity of HgCdTe detector were fulfilled by aid of the self-calibration technology for the relative spectral responsivity of the cavity pyroelectric detector. The average value of the measurement results is given in this paper. The quantity transmission of the absolute spectral responsivity of HgCdTe detector was conducted with the silicon detector calibrated by a cryogenic radiometer. Therefore, the calibration for the absolute spectral responsivity of HgCdTe detector in the full-wave band was realized. At last, the evaluation criterion of the uncertainty, which influences the measurement results, is presented.

**Key words:** cavity pyroelectric detector; spectral responsivity; HgCdTe detector

## 引言

20 世纪 80 年代以来,随着低温辐射计技术的发展,光辐射计量前进了一大步,达到了前所未有

的最低不确定度。从而使得低温辐射计逐渐成为光度、光谱光度、光谱辐射度和激光功率及能量计量的基准。由于硅陷阱探测器具有反射率低、对入射

收稿日期: 2006-06-28; 修回日期: 2006-07-20

作者简介: 范纪红(1977—),女,河北沧州人,西安应用光学研究所博士,主要从事光辐射计量方面的研究工作。E-mail: fjihong@163.com

光的偏振状态不敏感及高的光电转换效率和灵敏度等优点,常被用作传递标准。光谱响应度是探测器的重要技术参数之一,许多国家都建立了探测器光谱响应度测量装置<sup>[1-2]</sup>,并开展了探测器光谱响应度的标定工作。通常情况下仅需知道探测器的相对光谱响应度,但为了解决辐射量值传递问题,必须测量探测器的绝对光谱响应度。本文提出以低温辐射计为基准,以硅陷阱探测器为传递标准,在特定波长处用硅探测器对液氮制冷的HgCdTe探测器的绝对光谱响应度进行了量值传递。在红外光谱响应度测量装置上实现HgCdTe探测器全波段绝对光谱响应度的标定。该技术的应用提高了红外探测器绝对光谱响应度的测量精度,有助于红外辐射量值传递工作的开展。

# 1 HgCdTe 探测器绝对光谱响应度的标定

## 1.1 红外探测器相对光谱响应度测量的基本工作原理

选用腔体热释电探测器为基准探测器,先将腔体热释电探测器置于双单色仪出射狭缝后面,然后转动光栅使需要的各种单色辐射依次入射到腔体热释电探测器接收面上。所输出的电信号  $I_{cp}(\lambda)$  与光源的光谱功率分布  $\varphi(\lambda)$ 、单色仪的仪器函数  $F(\lambda)$ 、单色仪的透射比  $\tau(\lambda)$  以及腔体热释电探测器的光谱响应度  $R_{cp}(\lambda)$  成正比,即

$$i_{cp}(\lambda) \propto \varphi(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot R_{cp}(\lambda) \quad (1)$$

在保持光源和单色仪不变的情况下,用待测探测器代替腔体热释电探测器,其输出的电信号为

$$i_t(\lambda) \propto \varphi(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot R_t(\lambda) \quad (2)$$

比较上边两式,整理后得到

$$R_t(\lambda) = K \frac{i_t(\lambda)}{i_{cp}(\lambda)} \cdot R_{cp}(\lambda) \quad (3)$$

式中  $K$  为比例常数。由(3)式可知,要标定待测探测器的相对光谱响应度,必须已知腔体热释电探测器的相对光谱响应度。

## 1.2 腔体热释电探测器相对光谱响应度的自校准

由于腔体热释电探测器<sup>[3]</sup>具有相对平坦的光谱响应度,故常被用作基准探测器来标定探测器的相对光谱响应度。腔体热释电探测器相对光谱响应

度  $R_{cp}(\lambda)$  为

$$R_{cp}(\lambda) = \frac{[1-r(\lambda)]}{1-R_{eff}(\lambda)r(\lambda)} \quad (4)$$

而

$$\frac{1}{1-R_{eff}(\lambda)r(\lambda)} = G(\lambda) \quad (5)$$

式中:  $G(\lambda)$  表示在热释电探测器上通过安装反射半球而引起的增益,可用红外探测器相对光谱响应度测量装置<sup>[4]</sup>,在相同条件下分别测量全波段腔体热释电探测器和去掉腔体的热释电探测器的输出信号得到;  $R_{eff}(\lambda)$  可以通过实验测量得到。

在(0.8~20)  $\mu\text{m}$  波段,选用一热释电探测器作为参考探测器,利用红外探测器相对光谱响应度标准装置对腔体热释电探测器和去掉腔体的热释电探测器的相对光谱响应度进行了测量,测试结果如图1所示。

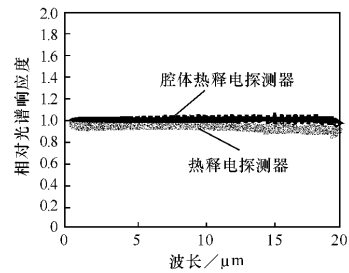


图1 腔体热释电探测器和热释电探测器的相对光谱响应度

Fig. 1 Relative spectral responsivity of pyroelectric detectors with and without cavity

通过计算相应波长2次测量结果的比值,可以得到该波长处的  $G(\lambda)$ , 以此得到全波段的  $G(\lambda)$ , 计算结果如图2所示。

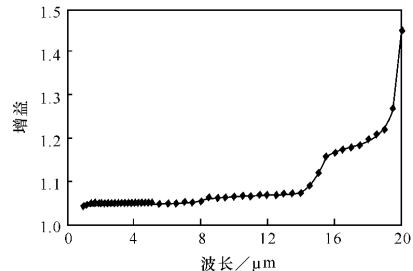


图2 腔体热释电探测器的增益

Fig. 2 The gain caused by pyroelectric detector with cavity mounted on it

将通过实验测量得到的  $R_{eff}(\lambda)=0.9$  代入(4)式和(5)式,得到图3所示的腔体热释电探测器的相对光谱响应度曲线。

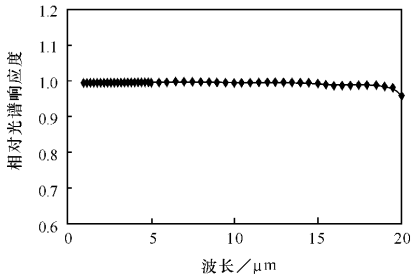


图3 腔体热释电探测器相对光谱响应度的测试结果

Fig. 3 The measured results of relative spectral responsivity for cavity pyroelectric detector

1.3 HgCdTe 探测器相对光谱响应度的测量结果  
在红外探测器相对光谱响应度测量装置上,以该腔体热释电探测器为基准探测器对 HgCdTe 探测器相对光谱响应度进行了6次重复测量,测量结果的平均值如图4所示。

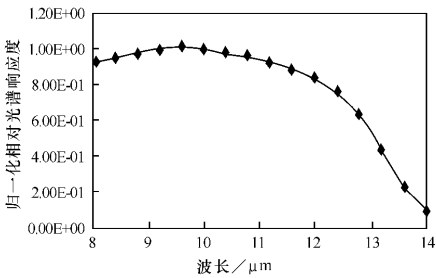


图4 HgCdTe 探测器相对光谱响应度的测试结果

Fig. 4 The measured results of relative spectral responsivity for HgCdTe detector

1.4 HgCdTe 探测器绝对光谱响应度的测量结果  
以低温辐射计为基准,以硅陷阱探测器为传递标准,对硅探测器在  $0.9 \mu\text{m}$  处的绝对光谱响应度进行量值传递。在红外探测器相对光谱响应度测量装置上,用该硅探测器通过腔体热释电探测器对液氮制冷的 HgCdTe 探测器进行绝对光谱响应度的量值传递。经过理论推导,HgCdTe 探测器在  $9 \mu\text{m}$  处的绝对光谱响应度为

$$S_{\text{HgCdTe}9} = S_{\text{Si}0.9} \cdot \frac{R_{\text{cp}9}}{R_{\text{cp}0.9}} \cdot \frac{i_{\text{cp}0.9}}{i_{\text{Si}0.9}} \cdot \frac{i_{\text{HgCdTe}9}}{i_{\text{cp}9}} \quad (9)$$

式中:  $S_{\text{Si}0.9}$  是硅探测器在  $0.9 \mu\text{m}$  处的绝对光谱响

应度;  $R_{\text{cp}0.9}$  和  $R_{\text{cp}9}$  分别是腔体热释电探测器在  $0.9 \mu\text{m}$  和  $9 \mu\text{m}$  处的相对光谱响应度;  $i_{\text{cp}0.9}$  和  $i_{\text{cp}9}$  分别是腔体热释电探测器接收  $0.9 \mu\text{m}$  和  $9 \mu\text{m}$  单色辐射输出的电信号;  $i_{\text{Si}0.9}$  是硅探测器接收  $0.9 \mu\text{m}$  单色辐射输出的电信号;  $i_{\text{HgCdTe}9}$  是 HgCdTe 探测器接收  $9 \mu\text{m}$  单色辐射输出的电信号。(6)式中一些未知的测量结果如表1所示。

表1 相关量测量结果一览表

Table 1 List of measured results for relative parameters

次数	HgCdTe (9 μm) 的电信号/V	腔体热释电 (0.9 μm) 的电信号/ $\times 10^{-5}$ V	腔体热释电 (9 μm) 的电信号/ $\times 10^{-5}$ V	硅(0.9 μm) 的电信号/ $\times 10^{-2}$ V	$S_{\text{Si}0.9} / \text{AW}^{-1}$
1	0.180 9	8.29	1.49	1.16	0.394 2
2	0.180 8	8.29	1.52	1.16	0.394 5
3	0.181 4	8.33	1.54	1.16	0.394 3
4	0.181 0	8.28	1.52	1.16	0.394 6
5	0.181 3	8.30	1.50	1.16	0.394 2
6	0.181 1	8.28	1.53	1.16	0.394 6
平均	0.181 1	8.295	1.517	1.16	0.394 4

通过计算得到 HgCdTe 探测器(附加前放)  $9 \mu\text{m}$  处的绝对光谱响应度为  $140.56 \text{ A/W}$ 。由已测得的全波段相对光谱响应度可以得到 HgCdTe 探测器全波段的绝对光谱响应度,测试结果如图5所示。

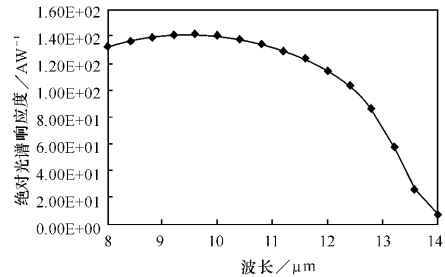


图5 HgCdTe 探测器(含前放)绝对光谱响应度测试结果

Fig. 5 The measured results for absolute spectral responsivity for HgCdTe detector (including preamplifier)

## 2 HgCdTe 探测器绝对光谱响应度测量结果的不确定度评定

影响测量结果的不确定度分量主要有:光功率

的绝对测量引入的不确定度分量  $u_1$ ; 腔体热释电探测器特定波长处绝对光谱响应度的定标引入的不确定度分量  $u_2$ ; 辐射源与监测系统稳定性引入的不确定度分量  $u_3$ ; 双单色仪波长校准引入的不确定度分量  $u_4$ ; 杂散光的影响引入的不确定度分量  $u_5$ ; 探测器响应的特性引入的不确定度分量  $u_6$ ; 重复性测量引入的不确定度分量  $u_7$ ; 影响 HgCdTe 探测器绝对光谱响应度测量结果不确定度评定一览表如表 2 所示。

表 2 测量结果不确定度评定一览表

Table 2 List of uncertainty of measuring results

不确定度分量	对最终不确定度的贡献/%
光功率的绝对测量	0.005
腔体热释电探测器绝对光谱响应度定标	0.01
辐射源与监测系统稳定性	0.06
双单色仪波长的校准	0.02
杂散光的影响	0.01
HgCdTe 探测器响应的特性	0.05
重复性测量	0.28
合成不确定度	0.30
扩展不确定度 ( $k=2$ )	0.60

### 3 结束语

在红外探测器相对光谱响应度测量装置上,通过完成腔体热释电探测器相对光谱响应度的自校准,实现了液氮制冷 HgCdTe 探测器相对光谱响应度的测量。在已有低温辐射计的量值传递装置上完成了溯源于低温辐射计的硅探测器 900 nm 处的绝对光谱响应度的标定,用该硅探测器对 HgCdTe 探测器的绝对光谱响应度进行了量值传递,最终实现了 HgCdTe 探测器全波段绝对光谱响应度的标定,并给出影响标定结果的不确定度分析。

#### 参考文献:

- [1] SHAW P S, LARASON T C. Improved nearinfrared spectral responsivity scale [J]. J Res Natl Inst Stand Technol, 2000, 105(5): 689-700.
- [2] LARASON T C, BRUCE S S. The NIST high accuracy scale for absolute spectral response from 406 nm to 920 nm [J]. J Res Natl Inst Stand Technol, 1996, 101(5): 133-140.
- [3] GEORGE E, MIKLOS R. Spectral responsivity determination of a transfer-standard pyroelectric radiometer [J]. SPIE, 2002, 4818: 118-125.
- [4] 范纪红, 侯西旗, 杨照金. 红外探测器光谱响应度测试技术的研究 [J]. 应用光学, 2006, 27(5): 460-462.