

## 傅里叶变换红外光谱仪探测器仪器响应函数研究

刘志明, 高闽光, 刘文清, 陆亦怀, 张天舒, 徐亮, 魏秀丽

中国科学院环境光学与技术重点实验室, 中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学中心, 安徽 合肥 230031

**摘要** 由于傅里叶变换红外光谱仪探测器在各个波段的仪器响应不相同, 在应用过程中无论是利用光谱的绝对强度还是相对强度, 都需要应用标准黑体对仪器进行定标, 找出仪器响应函数。该文对加拿大 BOMAN 公司 MR154 型傅里叶变换红外光谱仪配带的两个红外探测器(碲化铟 InSb、碲镉汞 MCT)的仪器响应函数进行了研究, 并找出了它们随黑体温度(辐射亮度)的变化规律。该规律对傅里叶变换红外光谱仪的定标和保证所测辐射谱的正确性有重要意义。

**关键词** 红外探测器; 傅里叶变换红外光谱仪; 仪器响应函数; 定标

**中图分类号:** TH741 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0593(2008)08-1786-04

### 引言

傅里叶变换红外光谱技术是 20 世纪 80 年代兴起的新谱学方法, 目前, 它已经被应用于化工、石油、地质、环境、煤炭、农业、医药、气象、空间技术等领域, 并在各领域的科研、教学与生产中发挥重大作用<sup>[1]</sup>。由于傅里叶变换红外光谱仪探测器在各个波段的仪器响应不相同, 在应用过程中无论是利用光谱的绝对强度还是相对强度, 都需要应用标准黑体对仪器进行定标, 找出仪器响应函数<sup>[2-4]</sup>。应用中发现: 仪器响应函数的精确度对测量结果影响非常的大。

本文对加拿大 BOMAN 公司 MR154 型傅里叶变换红外光谱仪配带的两个红外探测器(碲化铟 InSb、碲镉汞 MCT)的仪器响应函数进行了研究, 并找出它们随辐射亮度的变化规律。结果表明: 碲化铟 InSb 探测器的仪器响应函数随波数减小而增加, 随辐射亮度的增大而减小; 碲镉汞 MCT 探测器的仪器响应函数不随波数单调变化, 而是在波数为 900  $\text{cm}^{-1}$  附近达到最大值, 两边逐渐下降, 并且随辐射亮度的增大而增大。

### 1 原理

#### 1.1 理论 Planck 函数

根据 Planck 辐射定律, 理想黑体以波数为变量的辐射亮度( $\text{W} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$ )表示为<sup>[5]</sup>:

$$L_{\nu, \text{bb}} = \frac{C_1 \nu^3}{\exp(C_2 \nu / T) - 1} \quad (1)$$

式中:  $\nu$  为波数, 单位是  $\text{cm}^{-1}$ ;  $C_1 = 1.191\ 062 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1}$ , 称为第一辐射常数;  $C_2 = 1.438\ 786 \text{ K} \cdot \text{cm}$ , 称为第二辐射常数;  $T$  为辐射体的绝对温度。

#### 1.2 仪器响应函数

光谱仪探测器探测到的辐射包括: 目标的辐射、背景的辐射和仪器自身的辐射。可表示为:

$$S^{\text{Measured}}(\nu) = K(\nu)(L^{\text{Source}}(\nu) + M^{\text{stray}}(\nu)) + S^{\text{bg}}(\nu) \quad (2)$$

其中:  $S^{\text{Measured}}(\nu)$  为仪器测量的辐射亮度;  $K(\nu)$  为仪器响应函数;  $L^{\text{Source}}(\nu)$  为目标辐射亮度;  $M^{\text{stray}}(\nu)$  为仪器自身的辐射亮度;  $S^{\text{bg}}(\nu)$  为背景辐射亮度。

扣除仪器自身辐射和背景辐射后的辐射为:

$$S_0^{\text{Measured}}(\nu) = K(\nu)L^{\text{Source}}(\nu) \quad (3)$$

那么仪器响应函数可表示为:

$$K(\nu) = S_0^{\text{Measured}}(\nu) / L^{\text{Source}}(\nu) \quad (4)$$

其中:

$$S_0^{\text{Measured}}(\nu) = S^{\text{Measured}}(\nu) - K(\nu)M^{\text{stray}}(\nu) - S^{\text{bg}}(\nu) \quad (5)$$

### 2 实验

#### 2.1 实验设备

用加拿大 BOMEM 公司的 MR-154 傅里叶变换红外光谱仪自带的两个红外探测器探测不同温度时的黑体辐射谱, 液氮制冷型中红外探测器 MCT(TeCdHg 碲镉汞)的响应波段为 500~5 000  $\text{cm}^{-1}$ , 对应波长是 20~2  $\mu\text{m}$  和 InSb(碲化

钢)探测器的响应波段为  $600 \sim 6\,000 \text{ cm}^{-1}$ , 对应波长是  $16.67 \sim 1.67 \text{ }\mu\text{m}$ 。分辨率为  $1 \text{ cm}^{-1}$ , 16 次扫描平均, 内外光栏  $1.6 \text{ mm}$ , 卡塞格林式望远镜, 为减少空气中水分和二氧化碳的吸收, 黑体放在望远镜口。

黑体采用中国科学院上海技术物理研究所研制的 HFY-300A 型黑体, 主要技术指标如下。

温度范围	室温+5 °C~400 °C
辐射面	直径 128 mm(5 英寸)
控温方式	智能化控温测温仪
温度分辨率	0.1 °C
温度稳定性	$\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$
空腔类型	45°同心槽体
传感器	PT100

## 2.2 实验结果

### 2.2.1 碲化铟 InSb 探测器仪器响应函数

用碲化铟 InSb 探测器在相同的状态下同一个位置测量了温度分别为 100, 140, 160 °C 时黑体的辐射谱。碲化铟 InSb 探测器的响应波段为  $600 \sim 6\,000 \text{ cm}^{-1}$  (对应波长是  $16.67 \sim 1.67 \text{ }\mu\text{m}$ ), 空气中的水汽和二氧化碳在该波段存在很强的吸收, 同时还有少量的一氧化碳的吸收, 它们的具体分布为<sup>[6]</sup>: 水汽  $1\,857 \sim 2\,097 \text{ cm}^{-1}$ 、二氧化碳  $2\,284 \sim 2\,388$

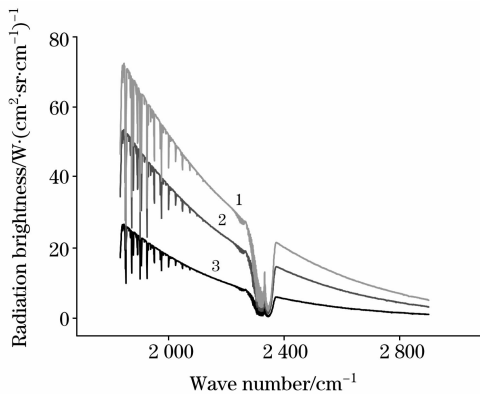


Fig. 1 Measured blackbody spectra under temperature 100 °C, 140 °C, 160 °C with absorb. of  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$   
1: 160 °C; 2: 140 °C; 3: 100 °C

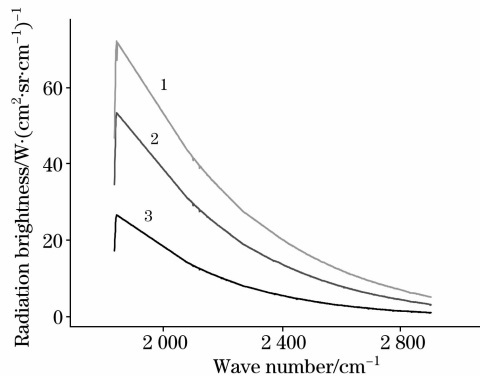


Fig. 2 Measured blackbody spectra under temperature 100 °C, 140 °C, 160 °C remove absorb. of  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$   
1: 160 °C; 2: 140 °C; 3: 100 °C

$\text{cm}^{-1}$ 、一氧化碳  $2\,244 \sim 2\,284 \text{ cm}^{-1}$ , 见图 1。通过 Origin 软件我们扣除三者的吸收后的辐射谱见图 2。

图 3 给出了温度分别为 100, 140, 160 °C 时黑体的理论辐射谱, 由(4)式可知, 图 2 除以图 3 可得仪器响应函数, 结果见图 4。

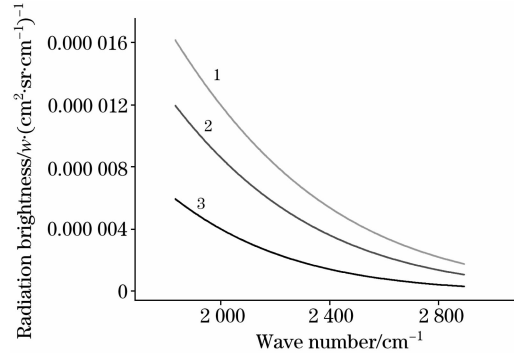


Fig. 3 Standard blackbody spectra under temperature 100 °C, 140 °C, 160 °C  
1: 160 °C; 2: 140 °C; 3: 100 °C

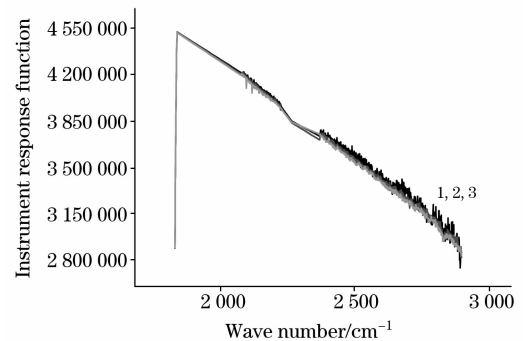


Fig. 4 InSb detector instrument response function  
1: 160 °C; 2: 140 °C; 3: 100 °C

为了减小随机噪声对结果的影响, 我们对图 4 应用计算机软件进行平滑, 结果见图 5。图 6 是图 5 中一段的放大, 从中可以清楚地看到碲化铟 InSb 探测器仪器响应函数随辐射亮度的变化趋势: 其放大倍数随波数的减小而增大, 随温度的升高而减小。

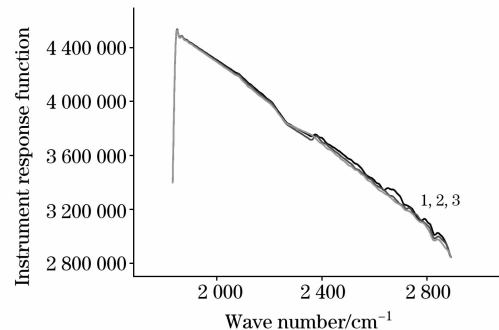
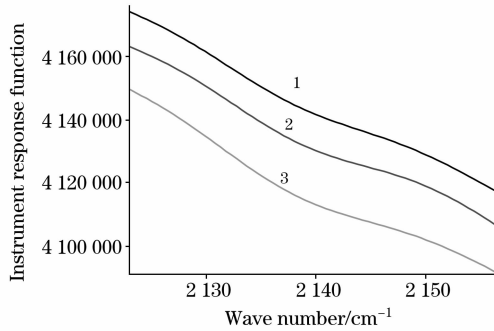


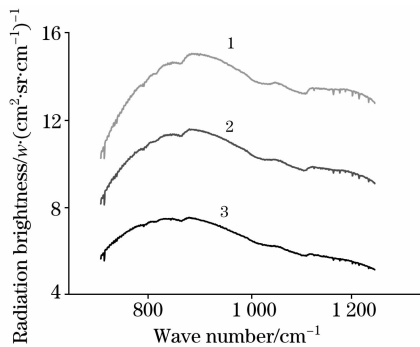
Fig. 5 InSb detector instrument response function after Smooth  
1: 160 °C; 2: 140 °C; 3: 100 °C



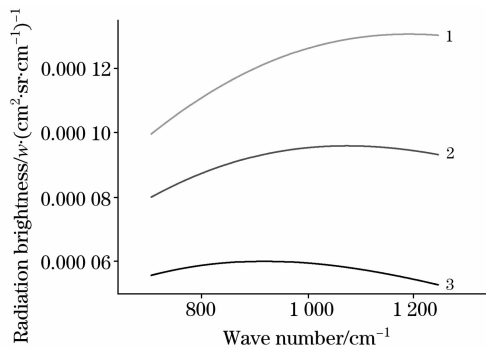
**Fig. 6 Magnifying Fig. 5**  
1: 100 °C; 2: 140 °C; 3: 160 °C

2. 2. 2 碲镉汞 MCT 探测器仪器响应函数

用碲镉汞 MCT 探测器在相同的状态下同一个位置测量了温度分别为 200, 280, 340 °C 时黑体的辐射谱, 碲镉汞 MCT 探测器的响应波段为 500~5 000 cm<sup>-1</sup> (对应波长是 20~2 μm)。碲镉汞 MCT 探测器的响应比碲化铟 InSb 探测器更靠长波段, 并且其中心响应波段没有水汽、二氧化碳、一氧化碳的强吸收。探测到的三种温度下黑体辐射谱, 见图 7, 图 8 为温度分别为 200, 280, 340 °C 时黑体的理论辐射谱。

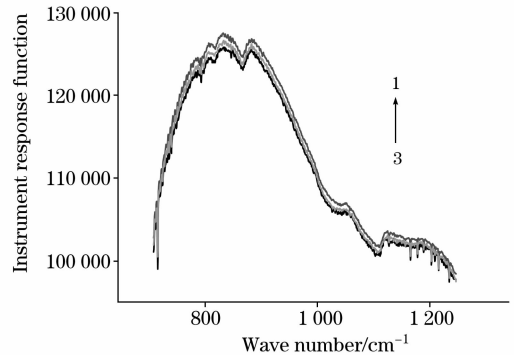


**Fig. 7 Measured blackbody spectra under temperature 200, 280, 340 °C**  
1: 340 °C; 2: 280 °C; 3: 200 °C

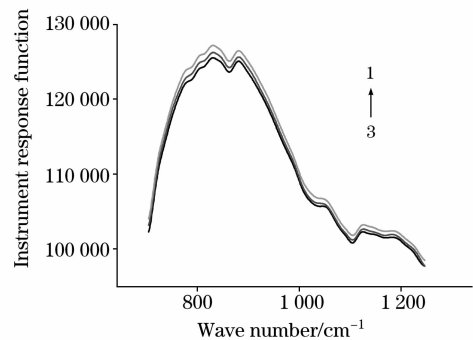


**Fig. 8 Standard blackbody spectra under temperature 200, 280, 340 °C**  
1: 340 °C; 2: 280 °C; 3: 200 °C

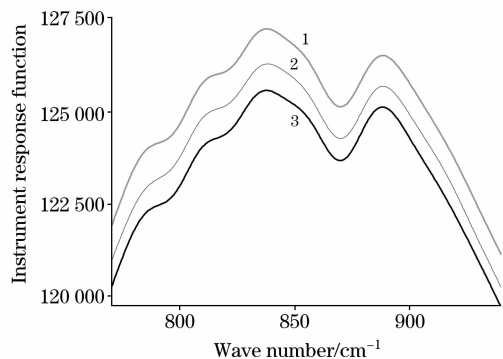
由(4)式可知, 图 7 除以图 8 可得仪器响应函数, 结果见图 9。为了减小随机噪声对结果的影响, 我们对图 9 应用计算机软件进行平滑, 结果见图 10。图 11 是图 10 中一段的放大, 从中可以清楚地看到碲镉汞 MCT 探测器仪器响应函数随辐射亮度的变化趋势: 其放大倍数并不像碲化铟 InSb 探测器仪器响应函数那样随波数单调变化, 而是在波数为 900 cm<sup>-1</sup> 附近达到最大值, 两边逐渐下降; 并且放大倍数随温度的变化规律与碲化铟 InSb 探测器正好相反, 其随着温度的升高而升高。



**Fig. 9 MCT detector instrument response function**  
1: 340 °C; 2: 280 °C; 3: 200 °C



**Fig. 10 MCT detector instrument response function after smooth**  
1: 340 °C; 2: 280 °C; 3: 200 °C



**Fig. 11 Magnifying Fig. 10**  
1: 340 °C; 2: 280 °C; 3: 200 °C

### 3 结 论

通过上述实验和分析,可以得出下列结论:

(1) 碲化铟 InSb 探测器仪器响应函数的放大倍数随波数的减小而增大,随温度的升高而减小。

(2) 碲镉汞 MCT 探测器仪器响应函数的放大倍数不随

波数单调变化,在波数为  $900\text{ cm}^{-1}$  附近达到最大值,两边逐渐下降;并且其随着温度的升高而升高。

(3) 不同材料的红外探测器的仪器响应函数随温度(辐射亮度)有不同的变化规律,在应用傅里叶变换红外光谱议测量目标的红外辐射时,应该用与目标辐射亮度相近的黑体进行标定,并且不同的探测器应用不同的方法。

### 参 考 文 献

- [1] WU Jin-guang(吴谨光主编). Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Its Application, Vol. 1(近代傅里叶变换红外光谱及应用(上册)). Beijing, Scientifical and Technical Documents Publishing House(北京:科学技术文献出版社), 1994. 442.
- [2] HUANG Zhong-hua, LI Yan, WANG Jun-de, et al(黄中华,李 燕,王俊德,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2002, 22(3): 399.
- [3] ZHANG Li-ming, ZHANG Lin, LI Yan(张黎明,张 琳,李 燕). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(1): 45.
- [4] WANG Jun-de, WANG Tian-shu, CHEN Zou-ru, et al. Spectrosc. Lett., 1997, 30(4): 783.
- [5] ZHANG Tian-shu, LIU Wen-qing, GAO Min-guang, et al(张天舒,刘文清,高闽光,等). Optical Technology(光学技术), 2006, 32(2): 221.
- [6] ZHU Jun, LIU Wen-qing, LIU Jian-guo, et al(朱 军,刘文清,刘建国,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(10): 1573.

## The Study of Instrument Response Function of FTIR Detectors

LIU Zhi-ming, GAO Min-guang, LIU Wen-qing, LU Yi-huai, ZHANG Tian-shu, XU Liang, WEI Xiu-li  
Key Lab of Environment Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

**Abstract** FTIR spectrometer detectors have different instrument response function in different wave band. In application, no matter absolute or relative intensity of spectrum the authors use, the authors should calibrate the instrument with standard blackbody to find the instrument response function. In the present paper, the authors study the instrument response function of detectors (InSb detector and MCT detector) in Canada MOMAN MR154 FTIR spectrometer. The authors found the law of the change in instrument response function with temperature (radiation brightness). It is important for FTIR spectrometer calibration.

**Keywords** IR detector; FTIRs; Instrument response function; Calibration

(Received Mar. 9, 2007; accepted Jun. 18, 2007)