

# 非致冷红外微测辐射热计的自热效应分析及重要参数测定

刘西钊 梁平治 沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

TN215

**摘要** 在考虑器件自热效应的情况下,对微测辐射热计的性能进行了深入地理论分析,应用了微测辐射热计的有效热导  $G_{eff}$  概念,得出对于一定的热导的器件,存在着最佳工作偏置电流  $I_{opt}$  这一重要结论,并找到一种通过电学测量确定微测辐射热计有效热导  $G_{eff}$  和有效时间常数  $\tau_{eff}$  的方法,试验结果与理论分析符合。

**关键词** 红外 微测辐射热计, 自热效应, 电学测量。

非致冷

## 引言

随着微电子和材料科学的迅速发展,使得制造高性能、低成本的非致冷微测辐射热计红外焦平面器件的工作越来越具吸引力。美国 Honeywell 公司于 1993 年已成功地研制出  $240 \times 240$  的非致冷微测辐射热计红外焦平面器件,并已应用于红外夜视系统<sup>[1]</sup>,同时,加拿大、日本、澳大利亚等国也投入大量资金进行该项目的研究,我们于 1997 年 6 月成功地研制出多晶硅红外微测辐射热计单元器件,在室温下获得了  $2 \sim 3 \times 10^8 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  的探测率。在研究有关读出电路的同时,我们对单元器件的性能进行了进一步的理论分析和测试,为以后更深入的工作奠定了基础。

## 1 自热效应对器件性能的影响

热敏电阻红外微测辐射热计是一种有源器件,工作时需要电流偏置。除吸收红外辐射外,电功率产生的焦耳热也会加热响应元,而器件的特殊结构使得这种自热效应对器件有较大的影响,我们的计算表明,焦耳热要比红外辐射大许多倍,所以,在实际分析中必须充分考虑焦耳热的影响。

在考虑自热效应的情况下,热平衡方程为<sup>[2]</sup>

$$H \frac{dT}{dt} + G(T - T_e) = P + \eta \varphi_0 \quad (1)$$

其中  $T$  为传感温度,  $T_e$  为环境温度,  $H$  和  $G$  分别为器件的热容量和热导,  $\varphi_0$  为红外辐射功率,  $\eta$  为器件的红外吸收率,  $P$  为自热功率。在交流情况下,设  $\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 e^{j\omega t}$ ,  $T = T_e + \theta$ , 代入式(1),将  $P$  进行泰勒级数展开,并取  $\theta$  一级近似,则有

$$H \frac{d\theta}{dt} + G\theta = \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_{T_s} \theta + \eta \Phi_{\text{inc}} \quad (2)$$

对  $\theta$  采取一级近似, 在恒流工作条件下, 定义有效热导为

$$G_{\text{eff}} = G - \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_{T_s} = G - I_0^2 \alpha R_c \quad (3)$$

微测辐射热计的电压响应率  $R$  和它的电特性、材料特性及热特性有关, 可表示为

$$R = \frac{I_0 \alpha \eta R_c}{G - I_0^2 \alpha R_c} \cdot \frac{1}{(1 + \omega^2 \tau_{\text{eff}}^2)^{1/2}} = \frac{R_0}{(1 + \omega^2 \tau_{\text{eff}}^2)^{1/2}} \quad (4)$$

其中  $I_0$  为偏置电流,  $R_c$  为探测器电阻,  $\alpha$  为热敏电阻的电阻温度系数,  $\omega$  为调制频率, 而

$$R_0 = \frac{I_0 \alpha \eta R_c}{G - I_0^2 \alpha R_c} = \frac{I_0 \alpha \eta R_c}{G_{\text{eff}}} \quad (5)$$

为平带电压响应率,  $\tau_{\text{eff}}$  为器件的有效时间常数, 定义为

$$\tau_{\text{eff}} = \frac{H}{G_{\text{eff}}} \quad (6)$$

与未考虑自热效应时比较<sup>[2]</sup>, 可以看出: 在引入有效热导  $G_{\text{eff}}$  和有效时间常数  $\tau_{\text{eff}}$  后, 电压响应率表达式虽有相同的形式, 但这时的  $R_0$ - $I_0$  关系却有很大不同, 图 1 为引入  $G_{\text{eff}}$  和  $\tau_{\text{eff}}$  后的  $R_0$ - $I_0$  关系曲线。

由图 1 可清楚地看到, 引入  $G_{\text{eff}}$  后, 对具有一定热导的器件, 存在一个最优化偏置电流  $I_{0\text{opt}}$  使  $R_0$  达到最大值  $R_{0\text{max}}$ , 而这一点在未考虑自热效应时是不存在的。

## 2 微测辐射热计主要热学参数的测定

微测辐射热计的热学参数对其性能有着重大的影响, 在器件的优化设计和分析中, 必须了解器件的主要热学参数。但在实际工作中, 精确测定器件材料的热导  $G$  和热容量  $H$  是一件比较困难的事, 而且, 一般情况下热敏区材料常为多层不同介质薄膜, 给测试工作带来更大困难, 测量精度也很难保证。再者, 由前面的理论分析可知, 真正起作用的是器件的有效热导  $G_{\text{eff}}$ , 所以, 即使测得材料的热导, 对器件分析意义并不是很大。

为了测定器件的有效热导  $G_{\text{eff}}$  和有效时间常数  $\tau_{\text{eff}}$ , 进而求出器件的热容量  $H$ , 我们找到了一种通过电学测量确定器件有效热导  $G_{\text{eff}}$  和有效时间常数  $\tau_{\text{eff}}$  的方法, 即信号电压频谱法。我们知道, 器件的电压响应信号  $V_s$  可表示为

$$V_s = \frac{I_0 \alpha \eta R_c \Phi_s}{G_{\text{eff}} (1 + 4\pi^2 f^2 \tau_{\text{eff}}^2)^{1/2}} \quad (7)$$

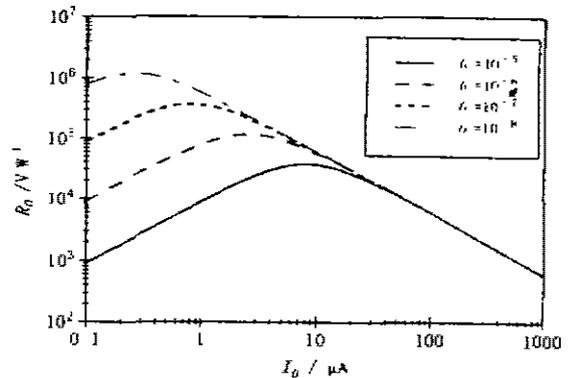


图 1 平带响应率和偏置电流理论曲线  
Fig. 1 Theoretical dependence of  $R_0$  on bias current  $I_0$

如果测得  $V_s-f$  关系曲线, 则可以认为曲线的平带部分表示器件工作在直流状态下, 即可认为这时  $f=0$ , 这样, 平带电压  $V_{s0}$  可表示为

$$V_{s0} = \frac{I_0 \alpha \eta R_s \Phi_0}{G_{eff}} \quad (8)$$

显然, 通过测得平带电压  $V_{s0}$  即可推出器件有效热导  $G_{eff}$ , 即

$$G_{eff} = \frac{I_0 \alpha \eta R_s \Phi_0}{V_{s0}} \quad (9)$$

式中, 我们选  $I_0$  为最佳工作偏流  $I_{0opt}$ . 图 2 给出  $V_s-I_0$  关系曲线, 由图 2 得  $I_{0opt}=2.5\mu\text{A}$ .

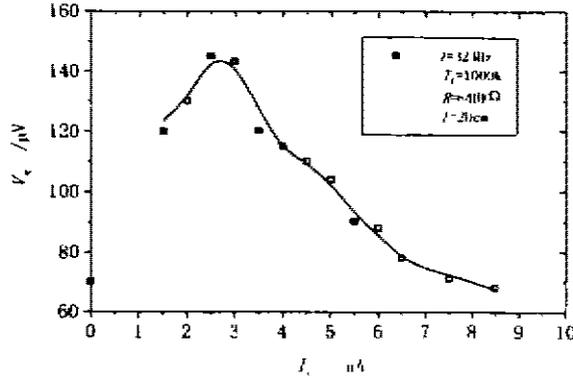


图 2 电压响应信号和偏置电流的关系曲线

Fig. 2 Dependence of  $V_s$  on bias current  $I_0$

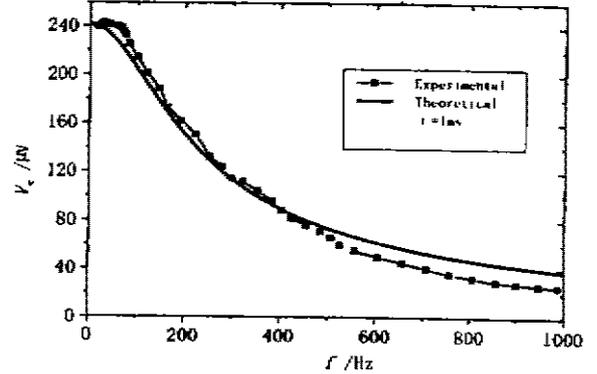


图 3 响应电压信号的频谱关系曲线

Fig. 3 Plot of  $V_s$  as a function of frequency

在  $T_b=1000\text{K}$  下, 用选频法测得器件  $V_s-f$  关系曲线如图 3 所示. 由图 3 可知, 平带电压  $V_{s0}=240\mu\text{V}$ . 在我们的样品器件中,  $\alpha=-2\%/\text{C}^{-1}$ ,  $\eta=0.7$  (由热敏薄膜材料的红外吸收谱确定),  $P_0=1.3\times 10^{-8}\text{W}$ , 这样得到的器件有效热导  $G_{eff}=1.075\times 10^{-6}\mu\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$ . 这一数值与图 1 中  $I_{0opt}=2.5\mu\text{A}$  所对应的器件热导相符得很好.

有效时间常数  $\tau_{eff}$  可由图 3 中  $V_s$  下降 3dB 处所对应的截止频率  $f_c$  利用下式求得:

$$\tau_{eff} = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (10)$$

求得有效时间常数  $\tau_{eff}\approx 1\text{ms}$ . 图 3 中实线为器件有效热导  $G_{eff}$  和有效时间常数  $\tau_{eff}$  的理论计算曲线, 可以看出实验与理论符合得较好.

### 3 结论

通过对器件考虑其自热效应情况下性能的理论分析, 得到对于一定热导的器件存在着—最佳偏置电流这一重要结论, 并为实验所证实. 同时, 用信号电压频谱法测得了器件的有效热导  $G_{eff}$  和有效时间常数  $\tau_{eff}$  等重要热学参数. 实验与理论分析一致, 为下一步更深入的研究工作打下了坚实的基础.

**致谢** 本文的实验工作得到董亮初、吴作良及邱惠国等同志的帮助和指导,在此表示衷心感谢。

#### REFERENCES

- 1 Wood R Andrew, Foss Norman A. *Laser Focus World*, June, 1993: 101~103
- 2 TANG Ding-Yuan, MI Zheng-Yu. *Fundamentals of Photo-electric Devices*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House (汤定元,糜正瑜. *光电器件概论*,上海:上海科学技术文献出版社), 1989, 387

### ANALYSIS OF BIAS HEATING EFFECT IN UNCOOLED INFRARED MICROBOLOMETER AND DETERMINATION OF ITS MAIN PARAMETERS

LIU Xi-Ding LIANG Ping-Zhi SHEN Xue-Chu

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** The influence of bias heating effect on uncooled microbolometer was theoretically analyzed. A practical method was presented, by which some key parameters of a device such as effective heat conductance ( $G_{eff}$ ) which was presented in this paper and effective time constant ( $\tau_{eff}$ ), were determined. It was concluded that there exists the optimum operating bias current  $I_{0opt}$  for a device with given heat conductance. The experimental results are in agreement with the theoretical ones.

**Key words** infrared, microbolometer, bias heating effect, electrical measurement.