

# 非制冷红外微测辐射热计的研制

刘西钉 江美玲 冯晓梅 丁爱娣 梁平治 沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

0551.J  
TK113

**摘要** 采用多晶硅薄膜材料作为热敏电阻材料,以普通的IC工艺及微机械加工技术研制成功了在室温下工作的红外微测辐射热计,其多晶硅电阻温度系数为 $-2\% \text{C}^{-1}$ ,探测率 $D^*$ 达 $2 \times 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ .

**关键词** 多晶硅, 非制冷微测辐射热计.

红外 辐射热计

## 引言

红外焦平面阵列(IRFPA)自70年代提出以来,发展非常迅速.已研制出单片式、混合式、制冷式和非制冷式等一系列IRFPA,并已广泛应用于军事及民用工业等许多领域,但它还存在成本高、需制冷、以及和集成电路工艺兼容性不强等问题.随着科学技术的进一步发展,IRFPA研制的重点将是低成本、低功耗、易使用、红外探测器和信息处理电路能同时集成在同一材料上(即单片式),最重要的是不需要制冷,能在室温下工作的高性能IRFPA.因此,非制冷红外焦平面阵列(UIRFPA)将是今后IRFPA发展的一个重要方向.

目前,UIRFPA主要有:热释电探测器阵列和微测辐射热计IRFPA(即Uncooled Microbolometer Infrared Focal Plane Arrays).其中,微测辐射热计IRFPA是目前非制冷红外焦平面阵列器件中的佼佼者,其良好的特性及广阔的应用前景越来越引起人们的关注.

## 1 理论

图1为微测辐射热计的基本模型.由热平衡方程可求得由于吸收红外辐射 $P_0$ 而引起热敏电阻 $R_s$ 的变化为:

$$\Delta R_s = \frac{\alpha R_s \eta P_0}{(G^2 + \omega^2 C^2)^{1/2}}, \quad (1)$$

式(1)中 $\alpha$ 为热敏电阻的电阻温度系数, $P_0$ 为辐射功率, $\eta$ 为红外吸收率, $C$ 为热敏电阻的热容量, $G$ 为热通道的热导, $\omega$ 为调制频率.而 $\alpha$ 可表示为

$$\alpha = \frac{1}{R_s} \frac{dR_s}{dT}, \quad (2)$$

当加偏置电流 $I_b$ 时,信号电压 $V_s$ 可表示为

$$V_s = \frac{I_b \alpha R_t \eta P_0}{(G^2 + \omega^2 C^2)^{1/2}}, \quad (3)$$

若定义时间常数  $\tau$ :

$$\tau = \frac{C}{G}, \quad (4)$$

则  $V_s$  可表示为:

$$V_s = \frac{I_b \alpha R_t \eta P_0}{G(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}}, \quad (5)$$

这样,探测器的响应率  $\mathfrak{R}$  可表示为

$$\mathfrak{R} = \frac{I_b \alpha R_t \eta}{G(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}}. \quad (6)$$

若器件的噪声特性主要表现为热噪声时,噪声电压可表示为:

$$V_n = (4kT_d R_t \Delta f)^{1/2}. \quad (7)$$

式(7)中,  $k$  为玻尔兹曼常数、 $T_d$  为器件的温度、 $\Delta f$  为测量带宽.

在热噪声极限下辐射热计的探测率  $D^*$  可表示为:

$$D^* = \frac{I_b \alpha \eta R_t^{1/2} A_d^{1/2}}{G(4kT_d)^{1/2}(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}}. \quad (8)$$

由以上各式可以清楚地看到,要提高器件灵敏度需考虑以下三个主要方面:

- (1) 尽可能提高热敏电阻的电阻温度系数  $\alpha$ . 这主要由材料的性质所决定,应尽量选取  $\alpha$  较大的材料.
- (2) 尽可能减小器件的热容量  $C$ , 这需要在综合考虑其它因素的前提下减小热敏电阻的纵向和横向尺寸.
- (3) 尽可能增强器件的热绝缘性,桥式结构是解决这一问题的良好办法. 另外,应选择机械强度高、低热导率的材料来制造桥式结构.

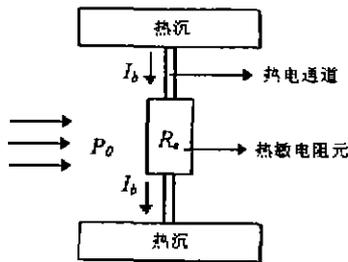


图1 微测辐射热计的基本模型  
Fig. 1 Basic model of microbolometer

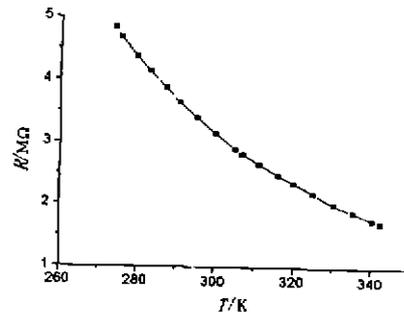


图2 多晶硅电阻随温度变化曲线  
Fig. 2 Dependence of poly-Si resistance on temperature

## 2 材料的选取

提高器件的灵敏度,材料的选取很重要,它要求有较高的电阻温度系数  $\alpha$  和易于制作且与 IC 工艺兼容的特性.多晶硅材料是当今 IC 工艺中广泛应用的材料,其制作工艺已相当成熟.另外其电阻温度系数可根据不同的工艺条件在较大的范围内进行调节,且其值比单晶硅大一个数量级,故我们选用多晶硅材料为制作热敏电阻的薄膜材料.

我们用 LPCVD 法淀积多晶硅薄膜,制成薄膜电阻,对其电阻随温度的变化关系进行了研究,图 2 所示为多晶硅电阻随温度变化曲线,通过适当调节多晶硅的掺杂浓度,我们获得了  $-2\% \text{C}^{-1}$  的多晶硅电阻温度系数,这一数值达到了国外同类器件的水平<sup>[1]</sup>.

## 3 器件制造工艺

微测辐射热计的工艺采用标准 IC 工艺,其主要工艺过程(见图 3)如下:

- (a) PECVD 生长  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (1),再生长牺牲层,然后腐蚀牺牲层,
- (b) PECVD 生长  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (2),再用 LPCVD 生长 Poly-Si.
- (c) 离子注入电阻区浓度,
- (d) 离子注入欧姆接触区浓度,
- (e) 蒸 AL,反刻,腐蚀牺牲层,形成微桥式结构.

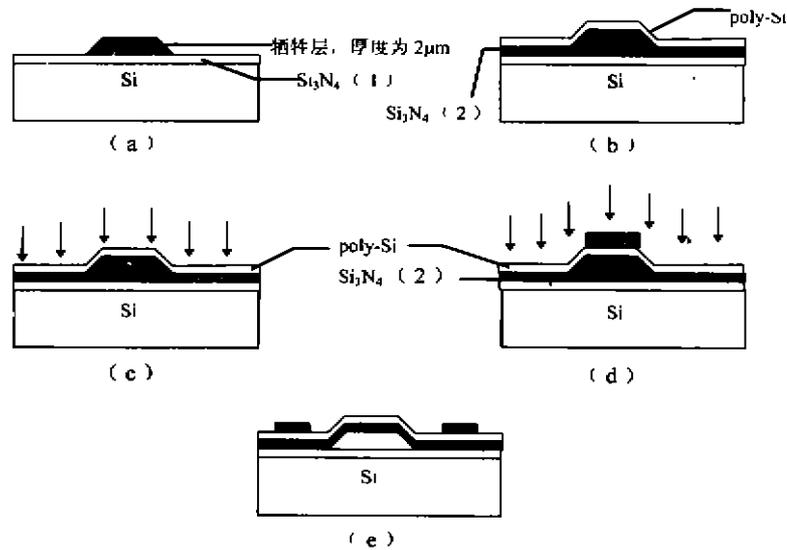


图 3 微测辐射热计的主要工艺流程  
Fig. 3 Process flow of the microbolometer

## 4 试验结果与分析

图 4 为我们研制的桥式微测辐射热计的扫描电子显微镜照片.

我们在室温下对器件进行了测量,测试条件为:黑体温度  $T_b=1000\text{K}$ ,探测器工作温度  $T=300\text{K}$ ,调制频率  $\omega=1000\text{Hz}$ ,黑体孔径  $\phi=0.8\text{cm}$ .

通过测试及计算,得出器件的探测率  $D^*$  达到  $2 \times 10^8 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ .

## 5 结语

我们成功地研制了室温下工作的微测辐射热计单元器件,其探测率  $D^*$  达到  $2 \times 10^8 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ ,这一结果与国外同类器件相当<sup>[2]</sup>.

另外,我们摸索出一套和 IC 工艺相兼容的微测辐射热计制造工艺,成功地解决了微测辐射热计的桥式结构这一技术难题,为以后进一步提高器件性能和制造探测器阵列打下了坚实基础.

**致谢** 在本课题研究过程中,得到倪云芝,吴作良,郭中原,马斌和张学敏以及十室邱惠国等同志的帮助和指导,在此谨表示感谢.

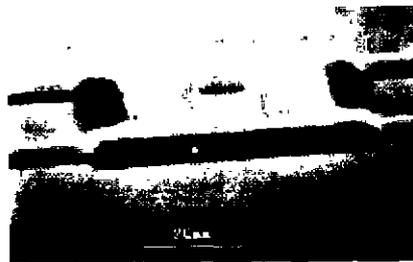


图4 微测辐射热计扫描电子显微照片  
Fig. 4 SEM photograph of microbolometer

## REFERENCES

- 1 Charles M. Neal B. *SPIE*, 1996, Vol. 2746: 23~31
- 2 Radford W, Murphy D, Ray M, *et al.* *SPIE*, 1996, Vol. 2685: 80~89

## DEVELOPMENT OF UNCOOLED INFRARED MICROBOLOMETER

LIU Xi-Ding JIANG Mei-Ling FENG Xiao-Mei DING Ai-Di  
LIANG Ping-Zhi SHEN Xue-Chu

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

**Abstract** By using conventional Si-LSI process and micromachining technology, a microbridge structure for the thermal isolation was made and a microbolometer was formed. Poly-Si film material was used as the thermally sensitive resistor because of its wide use in current IC technology. The detectivity ( $D^*$ ) of some  $2 \times 10^8 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  was observed.

**Key words** poly-Si, uncooled microbolometer