

硅基红外热堆中热电偶尺寸和对数对探测性能的影响*

李志怀 冯 明 刘月英 沈德新 卢建国 朱自强

(中国科学院上海冶金研究所, 上海 200050)

摘要: 分析了多晶硅-金集成热堆中热电偶的尺寸和对数对热堆性能的影响, 对非接触红外测温的实用型热堆提出了设计和改进的思路。随着热电偶对数的增加, 时间常数减小, 响应率增大, 探测率出现最大值。减小热电偶的长度可以减小热堆内阻和时间常数。多晶硅横截面积和金横截面积的比值接近最佳比值时, 探测率呈最大值 $3 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ 。

关键词: 热堆; 热电偶; 响应率; 探测率

EEACC: 2575 **PACC:** 0762; 2940

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2001)10-1287-05

1 引言

集成红外热堆由热电偶串联而成, 近年来, 结合薄膜技术和 CMOS 工艺, 集成红外热堆的性能已经得到了很大的提高^[1-4]。红外热堆用作红外探测器可对很宽的波谱发生响应, 可以在室温下工作, 操作简单, 在非接触测温、功率计、红外报警及频谱仪等方面有广泛的用途。冷战结束以后, 除军用和科研领域外, 红外探测和成像技术在民用领域得到迅速的推广应用, 基于 CMOS 工艺的集成红外热堆单元和焦平面阵列^[5-7]已经占据了一定的市场。

硅基集成红外热堆的截面结构如图 1 所示, 硅基底背面用化学刻蚀技术腐蚀出凹坑, 凹坑上面剩下一层数微米厚的 SiO_2 - Si_3N_4 介质支撑膜; 热堆的中间是红外辐射吸收区, 吸收区周围布置热电偶。热电偶由多晶硅-金属(金或铝)配对组成, 热电偶的热结在吸收区, 冷结在硅基底框架(热槽)上。辐射到达热堆后, 吸收区吸收辐射使热电偶的热结和冷结之间产生温差, 热电偶输出电信号。

关于热堆的结构和性能已经有了许多研究, 早

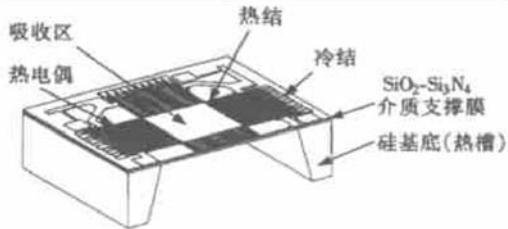


图 1 热堆截面结构

FIG. 1 Structure of a Thermopile

在 1947 年, Hornig^[8]讨论了提高热堆探测率和降低时间常数的方法; 进入 90 年代, 随着微机械加工技术的发展, 热堆的设计和加工也进入了一个新的阶段, 卢^[4]和 Sarro^[9]讨论了热堆的结构加工, Volklein^[10]和 Elbel^[11]讨论了热堆的分析模型和热电偶的长度对热堆性能的影响。本文分析了非接触测温硅基集成红外热堆中热电偶尺寸和对数对热堆性能的影响, 并对非接触测温的实用型热堆提出了改进。

2 热电堆的基本性能参数

热堆的性能主要由配对热电偶的材料特性和设计的热堆结构所决定。其中配对热电偶的材料一般

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 69925409)。

李志怀 男, 1973 年出生, 博士研究生, 研究方向为半导体热电微结构材料与硅基非制冷红外热堆。

2000-11-12 收到, 2001-01-18 定稿

©2001 中国电子学会

热电偶串联, 热堆内阻随热电偶长度线性变化; 多晶硅的电阻率大约是金的电阻率 2600 倍, 热堆的内阻主要是由多晶硅引起的, 可以增加多晶硅的横截面积或减小热电偶的长度减小热堆的内阻。图 3(b)中, 时间常数随热电偶长度增加而增大, 随金的横截面积的减小而迅速增大, 由于热电偶长度的增加, 增大了热堆的总热容, 金的横截面积的变小, 减小了热堆的热导(金的热导率大约是多晶硅的 12 倍), 因此减少热电偶长度和增大金的横截面积可得到小的时间常数。图 3(c)中, 响应率随热电偶长度的增加和金的横截面积的减小而增大, 热电偶长度增加和金的横截面积减小, 使热导减小, 从而使响应率增大。图 3(d)中, S_{Si}/S_{Au} 比值越接近 S_{Si}/S_{Au} 的最佳比值, 探测率越大; 探测率随热电偶长度的增加有最大值, 多晶硅和金的横截面积为 $70\mu\text{m}^2$ 、 $2\mu\text{m}^2$ 的最大值出现在 1.8mm 处。

热电偶的对数对热堆的性能参数也有很大的影响。图 4 给出了热堆的内阻、时间常数、响应率和探测率随热电偶对数的变化情况(热电偶长度为 0.8mm)。热堆的内阻随热电偶对数线性变化, 时间

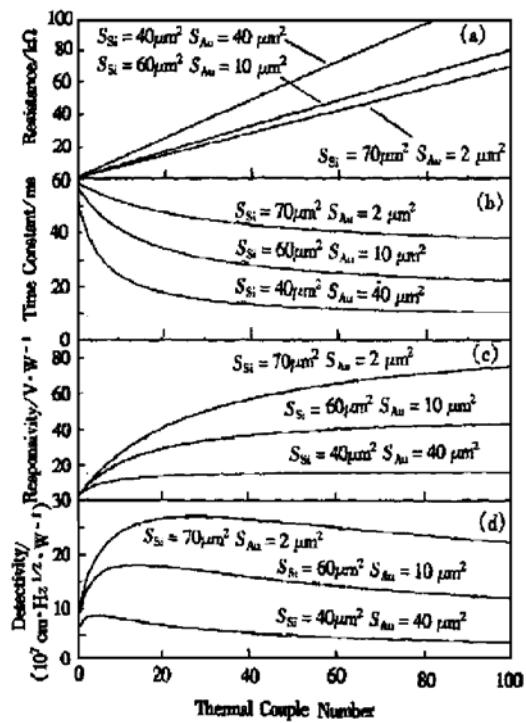


图 4 热堆的内阻、时间常数、响应率和探测率随热电偶对数的变化

FIG. 4 Resistance, Time Constant, Responsivity and Detectivity vs Number of Couples

常数随热电偶对数的增加而减小, 响应率随热电偶对数的增加而增大。热电偶对数较少时, 热电偶对数的变化对时间常数和响应率影响较大; 随着对数的增加, 响应率趋于饱和。探测率随热电偶对数的变化有最大值, 多晶硅和金的横截面积为 $70\mu\text{m}^2$ 、 $2\mu\text{m}^2$ 的最大值在 20 对左右, 多晶硅和金的横截面积为 $60\mu\text{m}^2$ 、 $10\mu\text{m}^2$ 的最大值在 10 对左右, 多晶硅和金的横截面积为 $40\mu\text{m}^2$ 、 $40\mu\text{m}^2$ 的最大值在 5 对左右。探测率在达到最大值之前增加较快, 达到最大值后缓慢减小。增加热电偶对数可以增大热堆的响应率, 减小时间常数, 但也会降低探测率和增大内阻。

根据上面对热堆中热电偶横截面积和对数的分析, 设计用于红外测温的热堆。选取热电偶的长为 0.8mm, 多晶硅的横截面积为 $60\mu\text{m}^2$, 金的横截面积为 $2\mu\text{m}^2$, 热电偶对数为 60, 灵敏面积为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$, $\text{SiO}_2-\text{Si}_3\text{N}_4$ 介质膜厚度为 $1\mu\text{m}$, 计算得到热堆的性能示于表 2 中。表 2 同时给出了中国科学院上海冶金所制作的热堆(热电偶材料为多晶硅-金, 热电偶长 1mm, 宽 $20\mu\text{m}$, 厚 $2\mu\text{m}$, 热电偶对数 60, 灵敏面积 $0.9\text{mm} \times 0.9\text{mm}$, 其他参数与计算值相同)和美国 Dexter 研究中心最近给出的 ST 60 型商品热堆(热电偶材料为多晶硅-铝, 热电偶对数 80, 灵敏面积 $0.6\text{mm} \times 0.6\text{mm}$)的性能数据。由表 2 可以看出本设计的热堆性能, 响应率和探测率将高于上海冶金所目前研制的热堆和美国 Dexter 研究中心的 ST 60 型商品热堆, 电阻低于这两种热堆, 但时间常数要大一些。由比较可以看出, 本设计将有比较高的探测率和响应率, 适合用于红外测温。

表 2 热堆性能比较

Table 2 Comparison Between Thermopile Properties

热堆性能	计算值	冶金所	ST 60(Dexter, Inc.)
响应率 /(V · W⁻¹)	65.7	15—40	50.5
时间常数 /ms	40	< 50	18
电阻 /kΩ	41.6	100	50
探测率 /(10⁸ cm · Hz¹/² · W⁻¹)	2.5	—	1.0

4 结论

吸收区面积为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 、支撑膜厚度为 $1\mu\text{m}$, 热电偶材料为多晶硅-金的集成热堆在多晶硅横截面积为 $50\mu\text{m}^2$, 金横截面积为 $0.3\mu\text{m}^2$ 时, 热堆

探测率高达 $3 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$.

当热电偶的材料和热堆的结构确定之后, 热堆的性能主要由热电偶的尺寸和对数决定。减小热电偶的长度可以减小热堆内阻和时间常数, 多晶硅横截面积和金横截面积的比值越接近最佳比值, 响应率和探测率越大。时间常数随对数增加而减小, 响应率随对数增加而增大, 探测率随对数的增加有最大值出现; 热电偶对数大于 50, 时间常数、响应率和探测率的变化不大。工艺条件对器件的影响本文不作讨论。

参考文献

- [1] J. Schieferdecker, R. Quad, E. Holzenkampfer *et al.*, Sensors and Actuators, 1995, **A46-47**: 422—427.
- [2] J. G. Lu, B. Xiong and C. L. Lin, Sensors and Actuators, 1993, **A35**: 217—220.
- [3] H. Baltes, O. Paulo and O. Brand, Proc. IEEE, 1998, **86**(7): 1660—1678.
- [4] LU Jianguo, SUI Zhaowen, XIONG Bin *et al.*, Sensors Technology, 1988, **4**: 20—22. (in Chinese) [卢建国, 隋兆文, 熊斌, 等, 传感器技术, 1988, **4**: 20—22].
- [5] W. Eneke, J. Schieferdecker, K. Storck *et al.*, Technisches Messen, 1999, **66**: 104—108.
- [6] A. D. Oliver and K. D. Wise, Sensors and Actuators, 1999, **73**: 222—231.
- [7] JIN Weiqi, HOU Guangming and LIU Guangrong, Infrared Technology, 1998, **20**(6): 6—11 (in Chinese) [金伟其, 候光明, 刘广荣, 红外技术, 1998, **20**(6): 6—11].
- [8] F. Hornig and B. J. O'kddfe, The Review of Scientific Instruments, 1947, **18**: 474—482.
- [9] P. M. Sarro, A. W. van Herwaarden and W. van der Vlist, Sensors and Actuators, 1994, **A41-42**: 666—671.
- [10] F. Volklein and H. Baltes, Sensors and Actuators, 1993, **A36**: 65—71.
- [11] T. Elbel, Sensor Material, 1991, **3**: 97.
- [12] T. Elbel, R. Lenggenhager and H. Baltes, Sensors and Actuators, 1992, **A35**: 101—106.
- [13] T. Elbel, Sensors and Actuators, 1991, **A25-27**: 653—656.
- [14] F. Volklein, Thin Solid Films, 1990, **188**: 27—33.

Effects of Size and Number of Thermocouples on Device Performance in a Infrared Silicon Based Thermopile*

LI Zhi-huai, FENG Ming, LIU Yue-ying, SHEN De-xin, LU Jian-guo and ZHU Zi-qiang

(Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: The size and number of thermocouples in a infrared silicon based thermopile device have much effect on the performance of the devices in the non-contact infrared temperature measurement. The main parameters of a thermopile, such as responsivity, detectivity, total resistance and response time, vary according to the size and number of thermocouples. The guidelines for designing and improving for a practical device are presented on the basis of theoretical analysis. As the number of thermocouples increases, the responsivity increases, the response time decreases and there appears a maximum value of the detectivity. The resistance and response time can be reduced by shortening the length of the thermocouples. When the ratio of the size of cross section of silicon to that of the metal(gold or aluminum) one reaches the optimum value, the maximal detectivity of $3 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ is obtained.

Key words: thermopile; thermocouple; responsivity; detectivity

EEACC: 2575 PACC: 0762; 2940

Article ID: 0253-4177(2001)10-1287-05

* Project Supported by National Natural Science Foundation of China Under Grant No. 69925409.

LI Zhi-huai male, was born in 1973, doctoral graduate. His research interest is in the microstructure materials of thermoelectric semiconductor and silicon-based uncooled infrared thermopile.