

新型薄膜温差电堆红外探测器的研制

孙铁囤 周南生

(西安电子科技大学微电子所, 陕西, 西安, 710071)

摘要 介绍一种新设计的薄膜型温差电堆红外探测器. 该器件将吸收层与敏感面分两侧, 用 TO-5 型封装的新结构. 采用半导体工艺研制的 $\Phi 1$ 型样品, 其结集成度达 22 个/ cm^2 , 响应率为 $30\sim 50$ V/W, 弛豫时间为 $70\sim 120$ ms, 光谱响应范围从紫外到远红外可调 (由窗口材料选定).

关键词 温差电堆, 响应率, 弛豫时间.

引言

温差电堆红外探测器是一种古老的测热辐射传感器. 器件具有直流稳定性好、光谱响应宽 (从紫外到远红外)、无需偏压与制冷等优点. 随着半导体工艺的发展, 器件的集成度不断提高, 加上愈来愈成熟的成膜技术, 使器件的响应率 R 、探测率 D^* 、弛豫时间 τ 得到明显的改善. 同时, 应用半导体工艺实现了器件的批量生产, 降低了成本, 使得这一器件在非接触温度测量、自动控制、被动红外报警、飞行器姿态控制等应用方面受到重视.

新型薄膜温差电堆采用集中参数模型, 设计出吸收层与敏感面不在同一侧的结构, 改变了传统的单面敏感层结构, 使器件的性能得到明显的改善.

1 温差电堆的设计

在敏感面的设计中^[1,2], 应用温差电堆的集中参数模型, 推导出直流响应率 R 和时间常数 τ ^[3]. 在这两个参数的相互制约关系中, 选取了比较合适的几何尺寸和结密度.

在稳态条件下, 并假定发射率为 1, 落到探测器接收面上的辐射功率等于传向热基体 (即本器件的参考结) 的热传导损耗加上向周围环境的辐射损耗. 结的功率平衡可写成:

$$HA = k \frac{a}{l} \Delta T + 4\sigma T^3 A \Delta T, \quad (1)$$

式 (1) 中右端第 1 项为工作结到参考结的热传递, 第 2 项为工作结向周围的热辐射.

其中 H 为辐照功率 (W/cm^2), A 为单个工作结的接收面积 (cm^2), I 为工作结到热基体的距离 (cm), k 为工作结和热基体间热导体 (构成温差电偶的材料) 的热导率 ($\text{W}/\text{cm}\cdot\text{cm}$), a 为工作结和热基体间的热导器的截面积 (cm^2), σ 为工作结的辐射系数, T 为绝对温度 (K).

对式 (1) 两边取倒数并乘上塞贝克系数 S , 则得到:

$$\frac{S}{HA} = \frac{S}{\frac{ka}{I}\Delta T + 4\sigma T^3 A \Delta T}, \quad (2)$$

用 $V/\Delta T$ 代替 S , 则响应率 R 可写成:

$$R = \frac{V}{HA} = \frac{S\Delta T}{\frac{ka}{I}\Delta T + 4\sigma T^3 A \Delta T}, \quad (3)$$

定义 ka/I 为热传导系数 K_1 ; $4\sigma T^3 A$ 为热辐射系数 K_2 , 则式 (3) 可写成:

$$R = \frac{S\Delta T}{K_1\Delta T + K_2\Delta T} = \frac{S}{K_1 + K_2}. \quad (4)$$

弛豫时间 τ 为热容 C 与热导之比:

$$\tau = \frac{C}{K_1 + K_2}. \quad (5)$$

从式 (4)、(5) 可见, 温差电堆的两个关键参数 R 、 τ 取决于工作结的热传导和热辐射. 其中热传导部分包括通过结材料的热导和支撑薄膜的热传导. 本设计中, 支撑薄膜用聚脂膜, 与结材料相比, 其热导可忽略不计. 所以, 降低 K_1 、 K_2 是提高 R 的关键, 但相应地增加了 τ , 因此, 只有减小工作结的热容 C 才行. 而 C 正比于工作结面积 A , 可通过提高结密度来实现.

实际设计中, 敏感面采用辐射状, 其结构见图 1. 器件从整体上作了以下改进:

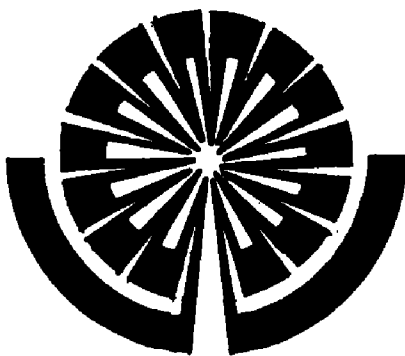


图 1 敏感面图形

Fig. 1 Geometry of the sensitive area

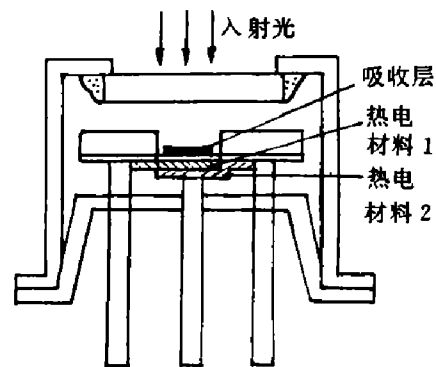


图 2 新设计的结构剖面图

Fig. 2 Profile of the new type thermopile

1.1 改善器件的内部结构

传统设计上, 薄膜温差电堆采用敏感面正对入射辐射的正面结构^[4]. 本设计采用敏感面朝下, 即吸收层与敏感面不在同一侧的反面结构 (见图 2), 该结构有如下优点:

(1) “冷端”相对入射光来说处于反面, 而吸收辐射的吸收层正对入射光, 从而形成吸热体与参考结不在同一侧, 减小了冷端长时间照射引起的温度上升, 使器件温度漂移系数减小, 从而明显地提高了器件的响应率 R 和探测率 D^* .

(2) 新结构不同于传统设计 (见图 2), 吸收层不是覆盖在敏感面上, 热可从两面散除, 使器件弛豫时间缩短; 另一方面, 可灵活选择光吸收层. 如传统结构中吸收层必须电绝缘, 否则会引起“热端”的短路, 因而限制一些性能良好的吸热材料的使用.

1.2 选用复合型的温差电材料

为了提高材料的塞贝克系数, 降低热导率, 调整两种材料的导热比, 该设计改变了传统沿用的纯铋、铋材料, 而采用不同比例的复合材料并掺进一些微量元素 (例如碲、铜等), 使响应率 R 、弛豫时间 τ 得到改善, 并提高了膜层的强度和与支撑膜间的牢固度.

1.3 降低敏感元周围的热导率

管芯被封装在 TO-5 型管壳内, 并被支撑悬空 (如图 3), 管内充惰性气体 (如氮气、氩气等), 以减小式 (4)、(5) 中的 K_2 .

1.4 提高器件的集成度

通过采用光刻、腐蚀和淀积技术, 提高了器件的集成度, 结密度达 22 个/ cm^2 , 使单个温差电偶元的工作结面积 A 减小, 从而减小了热容 C .

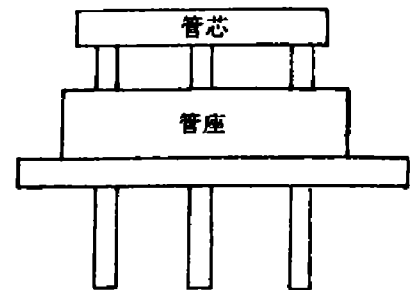


图 3 管芯装配图
Fig. 3 Geometry of chip assembly

2 结语

采用上述的结构和方法, 研制出了 $\Phi 1$ 型薄膜温差电堆. 器件由 15 对温差电偶构成, 工作结面为 1 mm 直径的圆. 两种材料由以铋和铋为主的复合材料构成. 窗口材料由 KBr 或 8~14 μm 的带通滤光片组成. 器件典型参数与其它温差电堆的比较见表 1.

表 1 几种器件性能对照

Table 1 Performance comparison of some thermopile detectors

参 数	数 值		
	本文设计样品	传统结构样品	瑞典 AGA 样品
光敏面直径 (mm)	1	3	1
结密度 (个/ mm^2)	22	5	22
光谱响应范围 (μm)	8~14	宽	8~14
响应率 (V/W)	30~50	15	35
阻值 ($\text{k}\Omega$)	3~5	4	4.2

参考文献

- 1 Charles E, Groubert E, Boyrer A. *Sensors and Actuators*, 1988,13:131~137

- 2 Volklein F, Wiegand A. *Sensors and Actuaotrs*, 1990,A24:1~4
- 3 吴 杰. 光电信号与检测. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990.47~63
- 4 葛巧溢. 仪器仪表, 1980,1:26~29

DEVELOPMENT OF A NEW TYPE THIN-FILM THERMOPILE INFRARED DETECTOR

Sun Tietun Zhou Nansheng

(*Microelectronics Institute, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China*)

Abstract A new design of the thin-film thermopile infrared detector with a construction of two sides and TO-5 detector package is given. By using the semiconductor technology, the integrated degree of the model Φ_1 sample is $22/\text{cm}^2$, its responsivity is $30\sim 50\text{ V/W}$, the relaxation time is $70\sim 120\text{ ms}$, and the spectral response range is from ultraviolet to infrared, defined by its window material.

Key words thermopile, responsivity, relaxation time.