

用表面微机械加工技术制成的流速传感器

黄金彪 骆志强^a 冯耀兰 童勤义

东南大学微电子中心,南京 210018

^a 深圳南海石油公司

(1991 年 12 月 16 日收到;1992 年 3 月 19 日收到修改稿)

本文介绍用表面微机械加工技术制成的多晶硅桥形温敏电阻及其在流速传感器中的应用。“桥体”和“桥墩”材料分别为多晶硅和二氧化硅。流速传感器的实验结果表明,在流速为 10cm/s 下输出可达 380mV。

EEACC: 7320R, 7230, 7320W

在过去的 20 年间,硅的微机械加工技术已取得了很大的成功^[1]。根据工艺的不同,可把这种技术分成体微机械加工技术和表面微机械加工技术两种。由于后者可用单面光刻(前者需双面光刻)实现、工艺简单,而且与 IC 工艺兼容性强等,因而近来受到了广泛的重视^[2]。

我们设计的桥形结构的多晶硅电阻的主要实现工艺为(如图 1 所示):①生长二氧化硅层(约 1μm);②LPCVD 多晶硅(0.7μm)、掺杂、光刻、高温退火;③光刻胶掩蔽,选择性腐蚀二氧化硅,形成多晶硅桥形结构,如图 1(c)所示。多晶硅条构成桥形结构的“桥体”,两端的二氧化硅作为桥形结构的“桥墩”,图 1(d)给出了这种结构的俯视图。之所以设计桥形结构,而不是把多晶硅直接淀积在衬底上,是从热容量方面考虑的。这种结构体积小,热容量小,并实现了与衬底的热绝缘,因而具有高的温敏灵敏度和好的动态性能。设计多晶硅条宽为 16μm,条长为 160μm。对多晶硅条设计了不均匀掺杂,即中间区域为轻掺杂(图 1(d)中的 L_c 区域),其余为重掺杂。采用不均匀的掺杂是基于如下考虑:①利用轻掺杂多晶硅的电阻温度系数较大的特点可获得高灵敏度的传感器;②在流速传感器中既利用多晶硅电阻的温敏特性,又利用多晶硅电阻的加热特性(下面将要介绍),这种结构在加热状态下温升将主要集中在中间轻掺杂的高阻区域,这样可降低通过“桥墩”向衬底的热损失。

多晶硅的电阻由晶粒电阻和晶界电阻两部分组成^[3]。对于轻掺杂的多晶硅,晶界电阻起主要作用,因而具有高的负温度系数。图 2 是以轻掺杂多晶硅温敏特性为基础设计的流速传感器电路结构图。图中 R 是多晶硅热敏电阻; R_1-R_3 为外接精密电阻; A 为运算放大器。四个电阻组成惠斯登电桥,运放起放大和反馈作用。传感器的工作采用恒温型热线风

* 国家自然科学基金和国家教委博士基金资助课题。

速计原理^[4].具体的工作过程为: R 在电桥电流下加热,当流过这个电阻的流速变化(如增加)时,由于对流换热, R 的温度(降低)和阻值随之改变(阻值上升),这导致电桥偏离原先的平衡状态、电桥 B 、 C 两端间的电压变化(增加),这个变化经运放放大后反馈到电桥的 A 端,使电桥恢复到原来的平衡状态.这时电阻 R 的温度(增加)和阻值变化(降低)到原来的值,即保证电阻 R 的工作温度恒定,而运放的输出反映了流速的变化.

根据能量守恒原理可导出传感器的输出 V_{out} 与流速 V_f 的关系方程:

$$V_{out} = c(a + b \sqrt{V_f})^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

其中 a 和 b 为取决于传热特性的常数, c 为取决于各电阻阻值、温敏电阻的工作温度和电阻温度系数(TCR)的常数.该式说明传感器的输出是流速的函数.

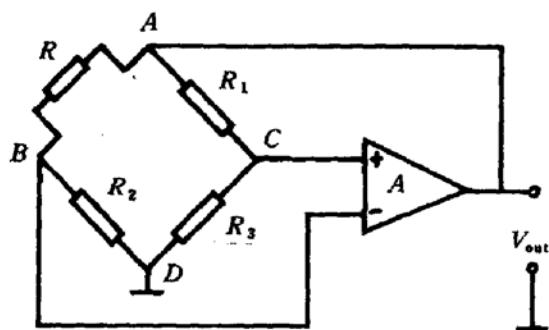


图 2 流速传感器电路结构示意图

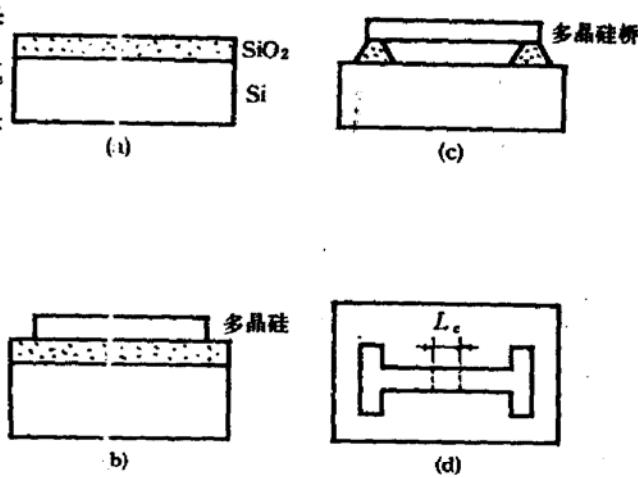


图 1 多晶硅桥形结构的工艺步骤(a)–(c)
和俯视图(d)

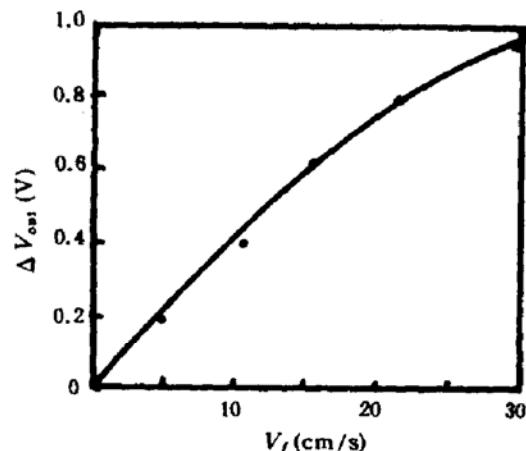


图 3 流速传感器在氯气流体中的流速敏感
实验结果

对多晶硅桥形电阻的温度敏感试验表明,在20℃附近其电阻温度系数约为-1200ppm/℃.用这样的多晶硅热敏电阻构成图2所示的流速传感器,在氮气流体环境中实验.图3是在不同的流速下传感器输出的实验结果,从图中可看出,该传感器灵敏度很高,在流速为10cm/s时,传感器输出可达380mV.因为在小流速范围可取(1)式的幂级数展开近似式,所以图3的结果与(1)式所预计的是一致的.对其进行动态测试表明,该传感器时间常数在1秒数量级,比同类传感器有所提高.该传感器其它性能的测试研究正在进一步进行之中.

多晶硅除了具有温敏特性外,设计适当的结构还可把它用于压敏、光敏等场合.由于多晶硅的制备与IC工艺完全兼容,所以以多晶硅为基础的传感器更易于向集成化发展,即可在同一芯片上集成更多的信号处理电路以进一步提高传感器的性能和使用灵活性.

参 考 文 献

- [1] R. Rudolf and J. Bergqvist, *Microelectronic Engineering*, **15**, 399(1991).
- [2] 葛文勋, 仪表技术与传感器, 1989年第1期, 20—22.
- [3] B. Lüder, *Sensors and Actuators*, **10**, 9(1986).
- [4] 盛森芝等, 流速测量技术, 北京大学出版社, 1987, 45.
- [5] 黄金彪等, 半导体学报, **10**(1), 55(1989).

Flow Velocity Sensor Fabricated by Surface Micromachining Technology

Huang Jinbiao, Luo Zhiqiang*, Feng Yaolan, and Tong Qinyi

Microelectronics Center, Southeast University, Nanjing 210018

* *Shenzhen Nanhui Oil Company*

(Received 16 December 1991; revised manuscript received 19 March 1992)

Abstract

A polysilicon bridge thermistor has been fabricated, in which poly-Si strip constructs the "bridge body", silicon dioxide serves as "bridge pier" supporting the bridge at the two ends. The thermistor has been successfully used in the flow velocity sensor. The experiments show the poly-Si thermistor has a TCR of $-1\ 200\ \text{ppm}/\text{C}$ (at 20°C), the flow sensor has a sensitivity of $38\ \text{mV}$ (at 10cm/s).

EEACC: 7320R, 7230, 7320W