

# 基于模型识别的高温微型压力传感器

张 丹,冯勇建,郑志霞

(厦门大学机电工程系,福建 厦门 361005)

**摘要:**高温测量是急需解决的测量问题之一。介绍一种将放大电路与信号传感器件分离的基于模型识别技术的高温微型电容式压力传感器。电阻电容信号滤波网络和信号的模型识别组成一个微型传感系统,在对滤波网络进行激励和模型识别后就可以得到变化的电容值。这种 MEMS 技术制作的硅玻璃键合的电容式压力传感器,可以在小于 300 环境下工作。此高温测量系统既满足高精度测量的要求,也避免了在高温环境中进行信号放大的难题。

**关键词:**模型识别;高温;压力传感器;MEMS 工艺

**中图分类号:**TP212 **文献标识码:**B **文章编号:**1002-1841(2003)09-0008-02

## High Temperature Pressure Microsensor Based on Model Identification

ZHANG Dan, FENG Yongjian, ZHENG Zhixia

(Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Measuring in high temperature is a problem in dire need of solving. A kind of high temperature capacitive pressure microsensor based on model identification is introduced. The microsensor is made of RC signal filter and signal model identification. Can get a capacitor after inspiring the filter and model identification. It can work in a condition less than 300 . The high temperature measuring system with high precision avoids the trouble of amplifying signal in high temperature.

**Key Words:** Model Identification; High Temperature; Pressure Sensor; MEMS

## 1 引言

自从半导体硅诞生以来,硅压力传感器就一直受到人们的关注。但是传统的扩散硅压力传感器是 PN 结隔离,当温度升到 100 以上,PN 结的漏电流过大,使器件无法工作。为了使硅压力传感器满足高温测量压力的要求,在 20 世纪 80 年代中期有人提出用多晶硅材料做压敏电阻的想法,这种多晶硅传感器的最高工作温度可达到 200 ,比扩散硅压力传感器提高了约 100 ,一些国家现已研制出了最高工作温度为 300 的多晶硅高温压力传感器。与多晶硅高温压力传感器类似的较高温度的压力传感器主要有硅-蓝宝石传感器,这种传感器在制作晶体时不用 PN 结隔离,而采用介质隔离,因此,这种材料制作的硅-蓝宝石高温压力传感器最高工作温度可以达到 350 。但是,硅-蓝宝石压力传感器工艺复杂,成品率低。国外对耐高温传感器的研究主要集中在硅的加工工艺上,即用不同的加工工艺得到具有耐高温的压阻压力芯片。目前较成熟的几种高温压力传感器有多晶硅高温压力传感器、碳化硅高温压力传感器、石英高温压力传感器、SOI(绝缘体上硅)高温压力传感器<sup>[1]</sup>、SOS(蓝宝石上硅)半导体高温压力传感器,以及溅射合金薄膜、陶瓷厚膜、光纤等高温压力传感器,而硅高温压力传感器以工作温度高、体积小、灵敏度高等优点倍受人们的青睐。硅高温压力传感器大致可分为 4 种形式:压阻式;电容式;MOS 式;薄膜式。在硅压力传感器里发展最早的是压阻式的压力传感器,利用硅的压阻效应可以获得比金属应变片信号强度高得多的压敏元件,这使得压力传感器的质量得到了很大的提高,但是,压阻式传感器是应力灵敏的,对封装要求高,抗干扰能力差,灵敏度不高。电容式压力传感器是继压阻式压力传感器之后发展的一种压力传感器,它具有抗干扰能力强、温度影响小的特点<sup>[2]</sup>。

介绍一种利用 MEMS 技术制作的基于模型识别技术的高温电容式压力传感器,利用 MEMS 技术制作硅玻璃键合的电容式压力传感器,可以在 < 300 的环境下工作;通过溅射剥离的方法制作的微型铂电阻可以与电容式压力传感器形成滤波网络。在对滤波网络进行激励和模型识别后就可以得到变化的电容值。这种设计既满足高精度测量的要求,也避免了在高温环境中进行信号放大的难题。

## 2 高温压力传感器的工作原理及加工工艺

### 2.1 高温压力传感器的工作原理

在高温下测量压力时,由于高温能使硅基制作的放大芯片工作失效,因而采取一种将放大电路与信号传感器件分离的设计方案,利用 MEMS 技术制作由电阻电容组成的信号滤波网络和信号的模型识别组成一个耐高温的微型压力传感系统。电容式压力传感器与微型铂电阻形成一个滤波网络,在一定的温度和压力下,输入一交流信号激励该滤波网络,在输出端会产生一组值,根据这组值进行模型识别得到变化的电容值,从而得到所要测量的压力值。

### 2.2 高温压力传感器的加工工艺

典型的电容式传感器由上、下电极,绝缘层和衬底构成。利用 MEMS 技术制作电容式压力传感器包括以下几个过程:清洗、氧化、光刻、腐蚀、扩扩、溅射、键合、金属化引线等<sup>[3]</sup>。

根据公式  $C = \epsilon_0 \epsilon_r (S/d)$ , 其中  $\epsilon_r = 8.85 \times 10^{-11}$ , 设电容为圆形, 电容值  $C = 50$  pF, 面积为  $S = \pi r^2$ , 其间距  $d = 1.5 \mu\text{m}$ , 计算出电容面积  $S = 8.4746 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ , 半径  $r = 0.52 \text{ mm}$

根据公式  $R = \rho (l/S)$ , 采用铂电阻, 其  $\rho = 10.5263 \times 10^{-5} \text{ cm}$ , 电阻值  $R = 1000 \Omega$ , 令溅射的铂膜宽为  $0.02 \text{ mm}$ , 厚度为  $0.2 \mu\text{m}$ , 截面积  $S = 4 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ , 得出铂电阻长度  $l = 380 \mu\text{m}$ 。在压力传感器的输入端加 10 V 的交流电压, 瞬间流过铂电阻的最大电流为 0.1 A, 经过计算, 电流流过时, 该厚度的铂膜不会被熔掉。

收稿日期:2003-04-07 收修改稿日期:2003-05-22

电容式高温压力传感器的制作工艺流程如下:氧化, Si 上表面生成 SiO<sub>2</sub> 光刻 腐蚀, 去掉底层的部分 SiO<sub>2</sub> 浓硼扩散, 在 Si 的表面形成一层硼硅膜 腐蚀, 去掉 Si 片上的 SiO<sub>2</sub>

在玻璃片上溅铂电极和铂电阻 在溅射完铂的玻璃片上长一层 SiO<sub>2</sub> 露出电容的两个电极并进行键合 腐蚀, 除去 Si 金属化引线。

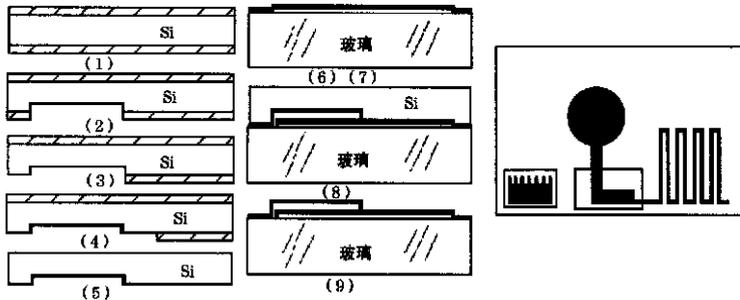


图 1 高温压力传感器的工艺流程图

### 3 高温压力传感器的特性仿真及模型识别研究

#### 3.1 特性仿真

图 1 中所示的高温压力传感器的传递函数为

$$G(S) = \frac{1}{RCS + 1} \quad (1)$$

$$G(j) = \frac{1}{RCj + 1} \quad (2)$$

所以增益

$$A = \frac{1}{\sqrt{(RC)^2 + 1}} \quad (3)$$

设电阻  $R = 1000$  ,  $C = 50$  pF, 其特性曲线如图 2 中的曲线 1; 当电阻值不变, 电容增加 2 pF 时, 其特性曲线如图 2 中的曲线 2; 当电容不变, 温度变化很小, 电阻增加 10 时, 其特性曲线如图 2 中的曲线 3; 当电容不变, 温度变化较大, 电阻增加 193 时, 其特性曲线如图 2 中的曲线 4。由此可以看出, 电容变化很小时, 曲线的变化可以识别, 而电阻变化很小时, 曲线的变化不易识别, 电阻变化较大时, 曲线变化容易识别。这说明电容变化对该电路影响很大。

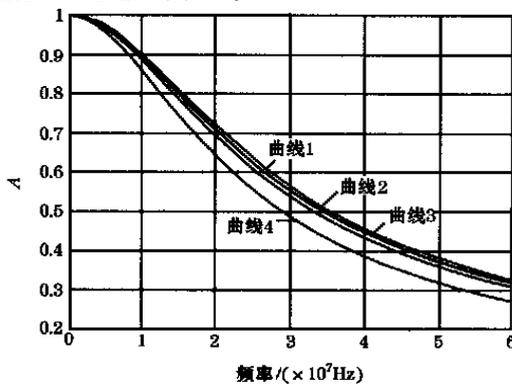


图 2 高温压力传感器的特性仿真图

#### 3.2 模型识别研究

##### 3.2.1 原理

在一定的压力和温度下, 图 2 所对应的压力传感器有一组输出值, 其传递函数为  $G(j) = 1/\sqrt{RCj + 1}$ , 增益  $A = \frac{1}{\sqrt{(RC)^2 + 1}}$ . 其不同的 对应不同的 A 值, 用这一组值进行曲线拟合, 得到拟合曲线和 RC 之值, 在电阻 R 两端加上直流

电压, 可测出电阻 R 值, 从而算出电容 C 的值, 进而得到压力的值。

##### 3.2.2 模型识别研究

在式(3)中, 与 A 成非线性关系, 可以利用变换法, 将这一数学模型转换成只包含线性参数的模型, 从而利用曲线拟合的方法得出线性系数  $R^2 C^2$  的值。原始数学模型为

$$y = \frac{1}{\sqrt{R^2 C^2 x^2 + 1}} \quad (4)$$

$$y^2 = \frac{1}{R^2 C^2 x^2 + 1} \quad (5)$$

令系数  $R^2 C^2 = a$ , 则  $y^2 = \frac{1}{ax^2 + 1}$  (6)

$$y^{-2} = ax^2 + 1 \quad (7)$$

$$y^{-2} - 1 = ax^2 \quad (8)$$

令  $X = x^2, Y = y^{-2} - 1$  所以原始数学模型转换为线性模型为

$$Y = aX \quad (9)$$

式中 a 为线性参数即  $R^2 C^2$  的值。

图 3 为电容为 50 pF、电阻为 1 000 时的拟合曲线图。其中, 实线为原始数据的曲线, 虚线为拟合的曲线, 两曲线完全重合。计算出的 RC 值为  $5 \times 10^{-9}$ , R 为 1 000 , 所以 C 值为 50 pF, 这说明用曲线拟合的方法中可以准确的计算出电容的值。

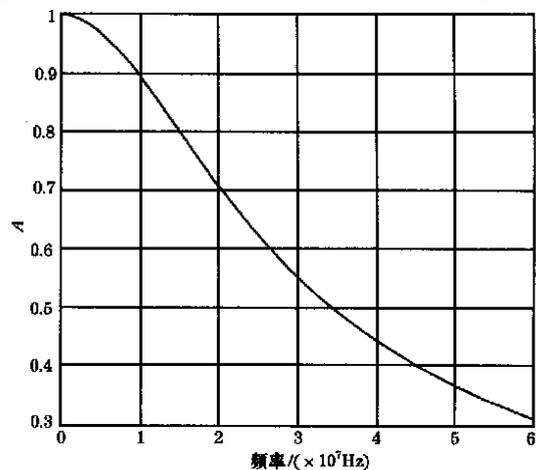


图 3 拟合曲线图

由于温度变化、湿度变化、光照、振动、金属化引线等多种原因, 高温压力传感器会产生一定的噪声, 图 4 为高温压力传感器产生噪声时的曲线拟合图。拟合曲线和 (下转第 49 页)

定时器的工作方式以及 8255 的初始化、TC1602A 的初始化等。

数据采集及处理主要包括实时采集电炉的炉温信号,计算出实际炉温与理想值的差值以及温差的变化率,并对炉温信号进行滤波和限幅处理。

模糊推理部分采用合成推理的查表方法,该方法事先制作模糊控制表,将该表事先置入内存,供查表使用。在实际控制时,模糊控制器首先把输入量的语言变量论域中,再根据量化的结果去查表,求出控制量。

### 5 结语

电加热炉采用模糊控制控制过程过程的鲁棒性很好,抗干扰能力强,超调基本为零,控制精度在 ±1 ℃,可实现快速无超调的跟踪给定输入,对参数变化有较强的适应能力,它将在电加热炉温度控制中起到越来越大的作用。

#### 参考文献

- [1] 王耀南. 智能控制系统. 长沙: 湖南大学出版社, 1996.
- [2] 谢宋和. 单片机模糊控制系统设计与应用实例. 北京: 电子工业出版社, 1999
- [3] 李华. MCS-51 系统单片机实用接口技术. 北京航空航天大学出版社, 1999
- [4] 孙育才. MCS-51 系列单片微型计算机及其应用. 南京东南大学出版社, 1997
- [5] 姜波. 单片机温度自动控制系统. 自动化与仪器仪表, 1996.
- [6] 廖哲智. LW 型电阻炉温度控制系统. 包装工程, 2001.

(上接第 46 页)

便可投入实际运行。

实际上,除了容器壁厚的影响外,余振信号衰减时间的大小还与超声波的频率有关,一般情况下超声波的频率愈低,余振持续时间也会愈长,但过长的余振衰减时间也于测量无益。相反,频率愈高,余振信号的衰减时间愈短,而过快的衰减于测量也不利,所以综合各方面的因素,从试验结果来看超声波的频率宜为 1 MHz 左右。

### 5 结束语

根据上述原理,已研制出定点液位测量装置,并在室内模型试验和现场实测试验中取得成功。实践证明该装置具有安装简单、调整方便、使用可靠、测量精度高等特点,对于高压密封容器定点液位的检测与现有其他方法相比有显著不可替代的优越性。这种方法容器内部定点液位测量的行之有效的新方法。

#### 参考文献

- [1] 冯若,姚锦钟,关立勋,等. 超声手册. 南京: 南京大学出版社, 1999.
- [2] 金长善. 超声工程. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1989.
- [3] 同济大学声学研究室. 超声工测量技术. 上海: 上海人民出版社, 1977.

(上接第 9 页)原始数据线重合,得到的  $a$  值,即  $R^2 C^2 = 2.4557e^{-15}$ ,  $R = 1000$ ,所以  $C = 49.556$  pF,误差为  $50 - 49.556 = 0.444$  pF. 由于噪声的影响,拟合出的电容值会有一定偏差。

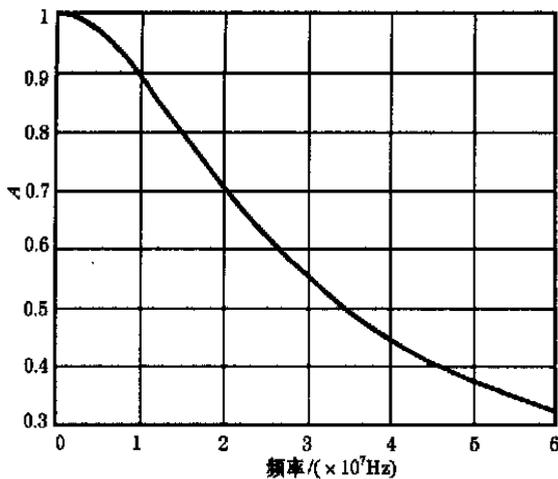


图 4 含噪声时的拟合曲线图

铂电阻的阻值随着温度的变化而变化,温度系数  $TCR = 0.03851$  的标准铂电阻的温度与阻值的关系如下表:

表 1 铂电阻温度—阻值

温度/	电阻值/	温度/	电阻值/
- 50	803.07	0	1 000.00
50	1 193.95	100	1 385.00
150	1 573.15	2001	758.40
250	1 940.74		

当温度升高时,铂电阻的阻值增加。在温度变化的过程中,会产生一些噪声,不同温度下根据拟合曲线求出的电容值有所不同。表 2 为不同温度没有噪声和含有随机噪声两种情况下拟合结果的比较。

表 2 不同温度下的曲线拟合结果

温度/	电容值/pF(没有噪声)	电容值/pF(含有噪声)
0	50	49.807
50	50	49.844
100	50	50.092
150	50	50.221
200	50	50.260
250	50	49.691

### 4 结论

基于模型识别技术的高温压力传感器是通过曲线拟合的方法计算电容,从而求出压力值,优于传统的高温测压方法。这种测压方法简单,可以节省成本,具有实际的推广意义。但噪声的影响会使测量结果有一定的误差,因此,该高温压力传感器还有待于进一步的改进和提高。

#### 参考文献

- [1] 单昌硅. SOI 高温压力传感器的研究. 传感器世界, 2003, 9(2): 36 - 37.
- [2] 贾伯年. 传感器技术. 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2000: 96 - 110.
- [3] 李德胜. MEMS 技术及其应用. 第一版. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002: 44 - 46.

**欢迎访问!**

[WWW.globalsensors.com](http://www.globalsensors.com)

**全球传感器专业网站**

六十类传感器 数千家传感器企业

超亿种传感器产品