

电容式微型真空传感器在真空绝热板生产中的应用研究

Application Research in Production of Vacuum Insulation Panel with Electric Capacity Micro-vacuum Sensor

程柏文 汤达斌 冯勇建
厦门大学(福建厦门 361005)

摘 要 介绍一种基于电容式微型真空传感器的真空度检测系统。系统利用PIC系列单片机对真空绝热板真空度进行实时测量, 试验数据表明精度可达 10^{-2} Pa, 完全满足测量的要求。

关键词: 微型真空传感器 真空绝热板 电容 - 电压转换器 PIC单片机

Abstract: The paper introduced a vacuum measurement system, which was based on the capacitance micro-vacuum sensor. This system used PIC series microcontroller unit carried on the real-time measurement to the vacuum degree of the vacuum insulation panel. According to the date of our experiments, the precision of the measure of vacuum degree can reach to 10^{-2} Pa, and it satisfies the measurement perfectly.

Key words: Micro-vacuum sensor Vacuum insulation panel Electric capacity-voltage switch PIC MCU

1 引言

随着科学技术的发展, 建设节约型社会已经成为人们的共识, 节能材料开始大量被使用。例如, 电冰箱节能措施之一是靠加强绝热, 其手段往往是加厚绝热层。对于厚度相同的绝热材料, 导热系数越小, 隔热效果越好。对于电冰箱节能而言, 增加隔热层厚度, 无疑会起到节能效果, 却加大了电冰箱体积或减少了使用空间。因此, 寻找更低导热系数的绝热材料, 成为电冰箱隔热节能的最佳途径。

近年来, 欧洲一些发达国家率先在节能建筑和冷藏设备等生产中使用真空绝热板 (Vacuum insulation panel), 以达到节能的目的。真空绝热板是由多层金属、高阻隔薄膜和玻璃纤维芯材、吸气剂构成。通过最大限度提高内部真空度来隔绝热传导, 达到保温、节能的目的。VIP真空绝热板是保温材料的升级换代产品, 实现了保温材料厚度减半, 节能省电一半的效

果。

但是, 真空绝热板的真空度测量是个难题。由于材料不能开孔, 真空腔狭窄, 普通的测量方法不能使用。利用微机电技术制作的微型真空规可以有效地解决这一难题。用微型真空规与IC电路集成制作的微型埋入式真空板真空测量元件, 装在真空板中, 在产品出厂检验时使用, 从而保证隔热板产品的真空质量。

2 系统组成及原理

2.1 电容式微型真空传感器

电容式传感器主要是利用硅膜片在压力的作用下产生变形, 使得两极板之间的距离发生变化, 从而使电容产生变化, 以此作为测量的基础。电容式微型真空传感器的结构如图1所示。

传感器是由玻璃衬底、下电极、绝缘层、硅膜片 (上电极)、上层密封用的玻璃组成, 其中下电极溅射在玻璃衬底上, 电极上生长一层绝缘层。硅膜则是

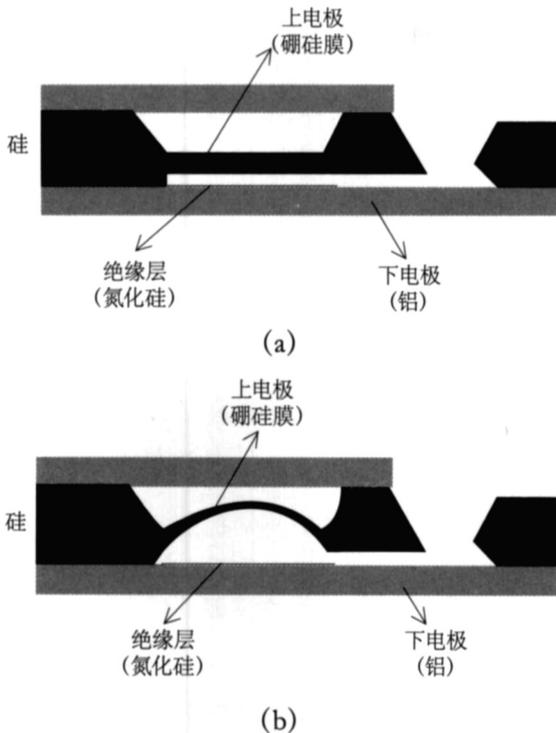


图1 电容式微型真空传感器结构示意图

利用硅片的双面光刻、扩散和各向异性腐蚀技术形成的。该电容式真空传感器有两个腔体，上面的腔体是一个真空腔；下面的腔体是键合形成的，这个腔体不是密封的，腔内气体与外界气体相通。电容器的两平板间的距离可由硅片腐蚀的深度控制，硅膜片与玻璃电极之间的间隙很小，这也是硅电容式传感器灵敏度高的原因。

2.2 CVC测试系统电路

本系统采用带增量调制器的电容-电压转换器，它能够获得可调节的信号带宽和检测精度。其电路如图2所示。

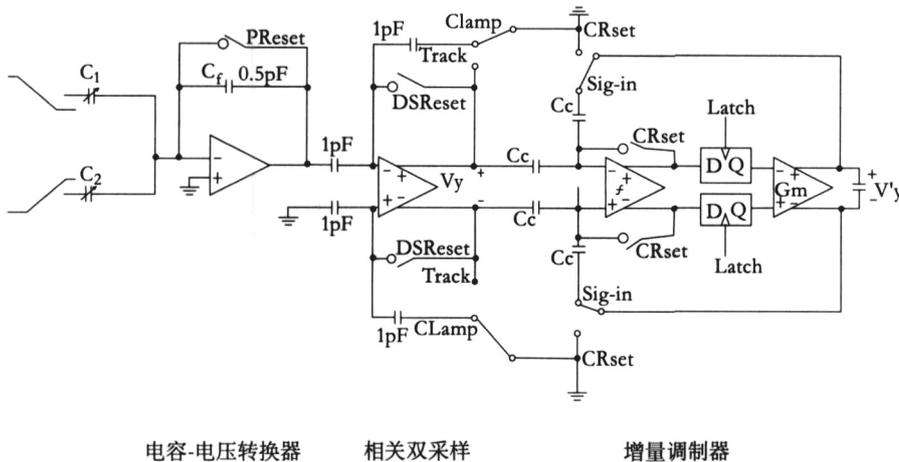


图2 带增量调制器的电容-电压转换器

电容-电压转换器把电容值的差 (C_1-C_2) 转换成电压形式。然后电压经过相关双采样以消除低频噪声，最后经过增量调制器进行低通滤波后输出。输出信号 V_y 与电容差 (C_1-C_2) 成正比。

两个激励信号 ($\pm V_s$) 对电容 C_1 和 C_2 充电，所以注入到前置放大器的电荷是：

前置放大器的输出为：

$$\Delta q = V_s(C_1 - C_2)$$

经过测试，此电路能有效地抑制各种噪声的影响，获得较好的精度。

$$V_{out} = -V_s \frac{(C_1 - C_2)}{C_f}$$

响，获得较好的精度。

2.3 信号放大电路

输出信号整体基准电压相对较小，必须进行信号放大，方便采集与传输，以便更好的进行后期信号处理。输出信号的放大处理电路如图3所示。

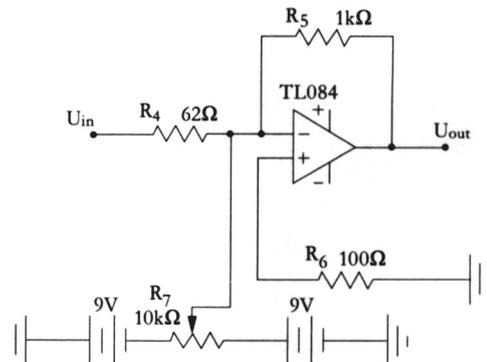


图3 输出信号放大处理电路

R_4 、 R_5 、 R_6 和TL084CN构成放大器，在本系统的实验测试中，需要该部分的运算放大器放大150倍左右，因此选择 $R_4=62\Omega$ ， $R_5=1k\Omega$ ，

此时：

此时：

$$A_v = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R_5}{R_4} \approx -150$$

2.4 PIC16F87X系统工作电路

本系统采用PIC16F87X工作电路，如图4所示。其中两个47K Ω 的电阻与复位键Reset组成复位系统，电容 C_1 、 C_2 均为22pF，与32k的晶振组成振荡系统电路。

系统的工作过程如下：

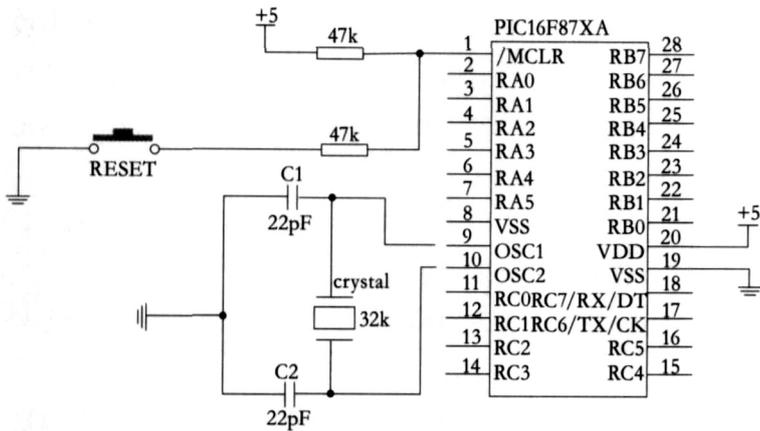


图4 PIC16F87X系统工作电路

3 测量数据及分析

(1) 电容式微型真空传感器测试被测环境的真空度后, 产生一个与真空度相对应的微小的电容值;

(2) 电容值经过电容/电压 (CVC) 转换测量电路, 转换为电压信号;

(3) 电压信号经过PIC16F876A进行处理及显示。

根据测量的数据, 可以得出 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Pa范围内真空度与输出电压的关系曲线, 如图5所示。可以看出随着真空度的增高, 输出电压值增大, 真空度越高电压变化越小。这是由于真空度越高, 真空传感两个腔体之间的压力差越小, 传感器的硼硅膜变化越小, 电容值变化也越小, 随之电压变化越小。

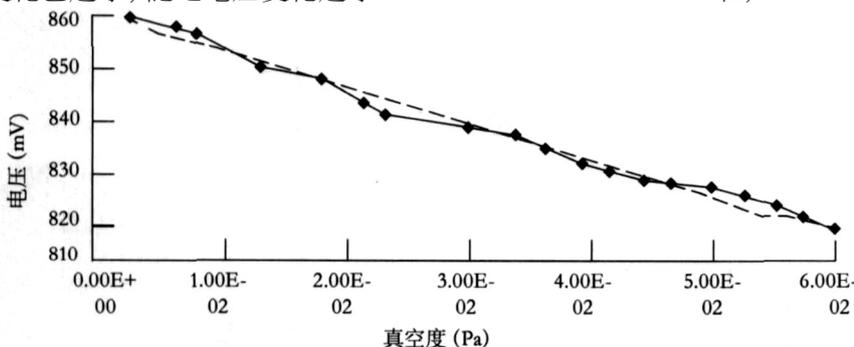


图5 真空度与输出电压的关系曲线及线性拟合曲线

图5直线部分是真空度与输出电压线性拟合曲线, 从图中可以看到, 两曲线之间的误差值很小, 这说明所测电压与真空度成近似线性的关系, 因此传感器的电容值与真空度成线性关系, 其性能良好。

4 结论

经测试, 该真空传感器真空度测量可达 10^{-2} Pa, 完

全满足真空绝热板真空测量的要求。

电容式微型真空传感器是利用MEMS技术制作的微器件。该器件用来测量真空度, 具有体积小、灵敏度高和可批量制作等优点, 具有产业化的潜力。由于电容式微型真空传感器与其它微型电容传感器的制作的加工方法和设备是一样的, 因而在产业化中很容易形成规模生产。还可开发用于真空设备、航空航天装置等高精度测试所需的器件, 也可用在医疗、玩具这样一些普通精度测量中, 其市场潜力巨大。

参考文献

- 1 M.Pedersen, M.G..H.Meijerink, W.Olthuis, P.Bergveld. An IC-compatible polyimide pressure sensor with capacitive readout. and Actuators A, 1997, 63: 163~168.
- 2 P K Bansal, T C Chin. Design and modeling of hot-wall condensers in domestic refrigerator. Applied thermal engineering, 2002, 22: 1601~1617.
- 3 张树林. 真空技术物理基础, 东北工学院出版社, 1988. 42~47.
- 4 李学海, PIC单片机实用教程, 北京航空航天大学出版社, 2002. 101~109.
- 5 杨鸿鸣, 王容. 真空测量技术发展溯源, 河南师范大学学报, 2001, 29 (1).
- 6 沙占友等. 单片机外围路设计, 电子工业出版社, 2003. 82~85.
- 7 罗翼等, PIC单片机应用系统开发典型实例, 中国电力出版社 2005. 131~134.

作者简介: 程柏文, 硕士研究生, 主要研究方向为测试计量技术及单片机应用。

版权声明

凡投稿本刊或允许本刊登载的作品, 均视为作者已同意其作品刊载于本刊网络版或电子版。其使用费已包含在本刊所付稿酬中。