

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 19920061151878

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

谐振筒式微质量测量系统的研究

Research of Micro-mass Measurement System

Based on Vibrating Cylinder Sensor

苏振强

指导教师姓名: 林 辉 副教授

专 业 名 称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2009 年 6 月

论文答辩时间: 2009 年 6 月

学位授予日期: 2009 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 2013 年 12 月 1 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

近几年来国内对高精度的微质量测量仪器需求逐渐增加，它广泛用于化学、生物、表面处理等诸多领域，既可用于科研院所和企业的研究工作，也可用于学校科学的工作，设计的领域进行各类研究的工作

而其两类产品——电子天平和谐振式微质量传感器——都被国外产品垄断，价格高昂。电子天平系列精度不够高，而且不能测量物体粘弹性；谐振式（QCM）精度高，但价格昂贵，而其关键技术都受到专利保护，国内研究较少。基于以上因素，课题组另辟蹊径，将国内已经研究得较深入的谐振筒传感器引入，用于测量微质量领域。本论文主要做了一下内容：

收集有关振筒传感器的资料，进行进一步的分析。

设计了一块基于 CPLD 的双通道同步高速高位 F/D 转换器。利用 CPLD 优良的同步特性，它能同时采集两路信号，而且计数位数为 32 位，能达到很高精度。同时，为了系统升级，又设计了一款与 FPGA 嵌入式软核 NIOS2 接口的双通道 F/D 转换器，具有更优越的性能。

设计了一套硬件系统，它由 CPLD 和单片机构成，程序用 C 语言编写。对从传感器输入的频率和温度信号进行实时采集和处理，输出相应的频率值。

用不同的纸片做了一系列的微质量测量试验，较全面了解振筒测量微质量方面的特性。经试验验证，测量系统能够达到微克到十几微克级别的分辨率。系统较稳定，实时性好，为以后进一步研究谐振筒的微质量测量及其产品化打下了坚实的基础。

**关键词：** 微质量测量； 振动筒； CPLD

## Abstract

Recently, the demand for high precision micro-mass instruments measurement is increasing gradually. They are widely used in fields like chemistry, biology and facial disposal.

There are two kinds of products in micro-mass measurement fields—the electronic scale and resonant micro-mass measurement instrument and they practically dominate the whole market. The precision of electronic scale is not high enough while the resonant one is outstanding in precision but with a high prize and the key techniques are protected by patent. Due to the factors above, we introduce the resonant tube sensor, which has been fully studied, to the micro-measurement field.

Work has been done as follows:

Designed a double-channel F/D converter based on CPLD with outstanding synchronous and high speed feature. The two channels can perform simultaneously and the core counter designed in it has 32 bits width. Also, considering the upgrade of hardware in the future, a double channel F/D converter based on NIOS2 was designed.

Further, developed the related hardware , a system that is composed of CPLD and MCU, which is used to gather and deal with the frequency and temperature data from resonant sensors and then displayed them through LCD.

At last, a general understanding on the system's features of micro-mass measurement can be seen after a series of experiments on small scrips of different shape and weight. And the resolution of the system is up to 1 ug scale. The system performs well and stably, all of which make a good foundation for further study and commercialization.

**Key words:** micro-mass measurement; resonant cylinder; CPLD

## 目录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 选题依据 .....	1
1.2 课题研究背景和意义 .....	1
1.3 本论文完成的工作 .....	2
第 2 章 双振筒式传感器介绍 .....	3
2.1 单个振筒传感器介绍 .....	3
2.2 双振筒传感器的微质量测量 .....	5
2.3 小结 .....	6
第 3 章 基于 CPLD 的双通道同步 F/D 转换器设计 .....	7
3.1 CPLD 介绍 .....	7
3.2 F/D 转换原理 .....	10
3.3 F/D 转换器设计的框架 .....	11
3.4 主要模块设计及仿真 .....	12
3.5 整体综合及仿真 .....	19
3.6 有关测试的预留 IO 接口 .....	21
3.7 本章小结 .....	22
第 4 章 与 NIOS2 接口的双通道 F/D 转换器设计 .....	23
4.1 FPGA 介绍 .....	23
4.2 方案设计 .....	24
4.3 整体综合与时序仿真 .....	31
4.4 小结 .....	32
第 5 章 整体硬件电路设计 .....	33
5.1 总体系统设计 .....	33
5.2 CPLD 硬件电路 .....	33
5.3 单片机系统硬件电路 .....	39
5.4 整体电路及布板 .....	49

---

5.5 小结.....	50
<b>第 6 章 软件系统的设计及验证 .....</b>	<b>51</b>
6.1 整体软件系统框架结构 .....	51
6.2 各部分软件编写 .....	51
6.3 小结.....	62
<b>第 7 章 实验设计和误差分析 .....</b>	<b>63</b>
7.1 实验设计 .....	63
7.2 实验结果 .....	66
7.3 小结.....	69
<b>第 8 章 总结与展望 .....</b>	<b>70</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>72</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>74</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文 .....</b>	<b>75</b>

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1 The source of topics.....	1
1.2 Research background and significance .....	1
1.3 Complete of work in this dissertation .....	2
<b>Chapter 2 Introduction of double vibrating cylinder senser.....</b>	<b>3</b>
2.1 Vibrating cylinder senser.....	3
2.2 Double vibrating cylinder senser .....	5
2.3 Summary.....	6
<b>Chapter3 Design of double-channel F/D converter based on CPLD...7</b>	<b>7</b>
3.1 Introduction of CPLD/FPGA.....	7
3.2 The principle of F/D converter .....	10
3.3 The frame of F/D converter.....	11
3.4 The design of each element on F/D converter.....	12
3.5 Overall synthesis and simulation.....	19
3.6.Reserved IO interface for testing.....	21
3.7 Summary.....	21
<b>Chapter4 Design of double channel F/D converter based on NIOS2.23</b>	<b>23</b>
4.1 Introduction of FPGA .....	23
4.2 Design of double channel F/D converter based on NIOS2 .....	24
4.3 Overall synthesis and timing simulation.....	31
4.4 Summary.....	32
<b>Chapter 5 Design of overall hardware circuit.....</b>	<b>33</b>
5.1 The frame of overall circuit .....	33
5.2 Design of CPLD hardware circuit .....	33
5.3 Design of MCU hardware ciucuit.....	49
5.4 Overall ciucuit layout and PCB making .....	49

5.5 Summary.....50

**Chapter 6 Design of software and synthesis .....51**

6.1 Frame of overall software ..... 51

6.2 Composition of main part of software ..... 51

6.3 Summary..... 62

**Chapter7 Experiment and analysis.....63**

7.1 Experiment and synthesis ..... 63

7.2 Conclusion and prospection ..... 66

7.3 Summary..... 69

Chapter 8 Summary and prospection.....70

**References.....72**

**Acknowledgement.....74**

**Achievement .....75**

## 第 1 章 绪论

### 1.1 选题依据

近几年来国内使用谐振式微质量传感器进行各类研究的工作非常迅猛, 谐振式微质量传感器是机电一体化的高科技产品。可以广泛用于化学、生物、表面处理等诸多领域, 既可用于科研院所和企业的研究工作, 也可用于学校科学的工作, 设计的领域不断扩大。预计未来几年后国内的科研院所对高性能的谐振式微质量传感器会有较大的需求<sup>[01][02][03][35]</sup>。

福建省科技计划项目前沿研究项目中, 厦门大学航空系林辉副教授提出用于生物技术的谐振筒式微质量天平的研制项目, 拓展了谐振筒式传感器的应用领域, 研究成果为国内提供一种新的廉价的谐振式微质量传感器。拥有完全自主知识产权, 可以不受国内外专利技术的制约。

同时, 为了适应现在的谐振筒式微质量天平测量系统实时性好、功耗低、多功能、体积小发展趋势的要求, 本论文研究利用可编程逻辑器件来实现双通道的 F/D 数据采集, 采用了 ATERA 公司生产的 CPLD 器件 EPM570, 它具有同步操作功能和系统的可在线升级性等优越的性能, 为实现测量的实时性准确性等提供了良好的硬件基础。

### 1.2 课题研究背景和意义

目前国内外主要的微小质量测量方法有两种: 电子天平和谐振式微质量传感器。

电子天平是采用电磁力与被测物体的重力相平衡的原理来测量的, 通过测量流过电磁线圈的电流变化得出被测物体的质量。国内外生产电子天平的厂家较多, 国内自主研发的许多产品分辨率通常是 1 毫克, 国外产品精度较高, 例如德国 Sartorius 公司生产的 BS124S 型天平, 测量范围 0~120 克, 分辨率 0.1 毫克, 有些产品的分辨率更高。从电子天平的工作原理可以知道, 它用于测量物质的质量, 不能用于测量物体的粘度等其他特性。

谐振式微质量传感器目前都是采用石英晶体为天平 (QCM), 它是以石英晶体作为谐振元件, 当谐振体表面附着一微小质量时, 其谐振频率发生改变, 通过测

量谐振体的谐振频率变化来测定被测物质的质量。国外已经对它进行了几十年的研究，到 90 年代初已有商品化仪器，第二代产品可以利用石英晶体振荡信号的衰减系数测量物质粘弹特性，技术水平较高，许多技术受到专利保护。国内 QCM 的研究起步较晚，除少数人在研究 QCM 外，多数研究主要集中在 QCM 的应用上。国产 QCM 的噪声较大，灵敏度较低，由于受到国外专利技术保护，QCM 的研究暂时还没有取得更大的进展。

谐振式传感器过去主要用于测量气体的绝对压力。英国早在上世纪六十年代就有人在研究，其后主要研究电容式压力传感器，最近几年随着 MEMS 技术的发展，开始出现硅谐振压力传感器。国内从七十年代中期开始研制谐振筒压力传感器，八十年代初出现有关的产品<sup>[35]</sup>。

而在用于生物技术的谐振筒式微质量天平的研制项目中，在研究以振动筒作为谐振元件来测量质量。与石英晶体微天平类似，当被测物质辐照在振动筒的外壁上时，振动筒的谐振频率发生变化，由此可以测出被测物质的质量。从原理上看它也能用于测量物质的粘度等。用谐振筒测量微小质量，在技术上另辟捷径，突破国外的专利壁垒。但是由于起步较晚，研究的人数比较少，相关的理论研究还需要加强，相信随着研究的深入，性能会有更大提高，应用领域也会更加广泛。

### 1.3 本论文完成的工作

本研究的目标是设计一个基于 CPLD 和单片机系统的谐振式微质量天平采集系统，系统由电源、单片机、CPLD、LCD 显示屏、RS232 通信电路等部分组成，软件采用 C 语言设计。整个系统具有低功耗、系统稳定、方便易用等特点。

本文主要完成以下几方面的内容：

- 1、收集了相关振筒资料，对微质量振筒传感器进行整理和分析。
- 2、对可编程逻辑器件进行深入学习，对其硬件结构，软件使用，设计方法等都有较深刻的认识。设计了一款基于 CPLD 的双通道 F/D 转换器，用 VHDL 编程。还设计了一款与 NIOS2 接口的双通道 F/D 转换器，用于以后系统升级之用。
- 3、设计了基于单片机 AT89C51CC01 为核心的系统硬件电路，包括周围电路如 LCD，串口，按钮，A/D，电源等。
- 4、软件部分用 C 语言实现编程，整洁高效。

## 第2章 双振筒式传感器介绍

### 2.1 单个振筒传感器介绍

谐振筒式传感器具有高精度、高灵敏度的优良特点，目前已经广泛用于测量大气压力、密度等。

振动筒是传感器的核心元件，决定了传感器的量程、工作频率、重复性、迟滞、精度、灵敏度和频率温度特性等指标当被测物理量（如压力、密度）变化时，振动筒的谐振频率发生变化，通过测量振动筒的谐振频率就可测出被测物理量。

振筒式传感器广泛应用于压力，气压，密度等等测量领域。其具有数字化、集成化和智能化特点：

(1) 输出为频率(周期) 信号, 可不经转换而方便地与数字系统或计算机连接, 远距离传输中不易产生失真误差而降低准确度;

(2) 迟滞误差和漂移误差小, 具有高的准确度、灵敏度和分辨力;

(3) 传感器系统的抗干扰能力强、长期稳定性好, 尤其适宜于比较恶劣的工作环境。

#### 2.2.1 工作原理

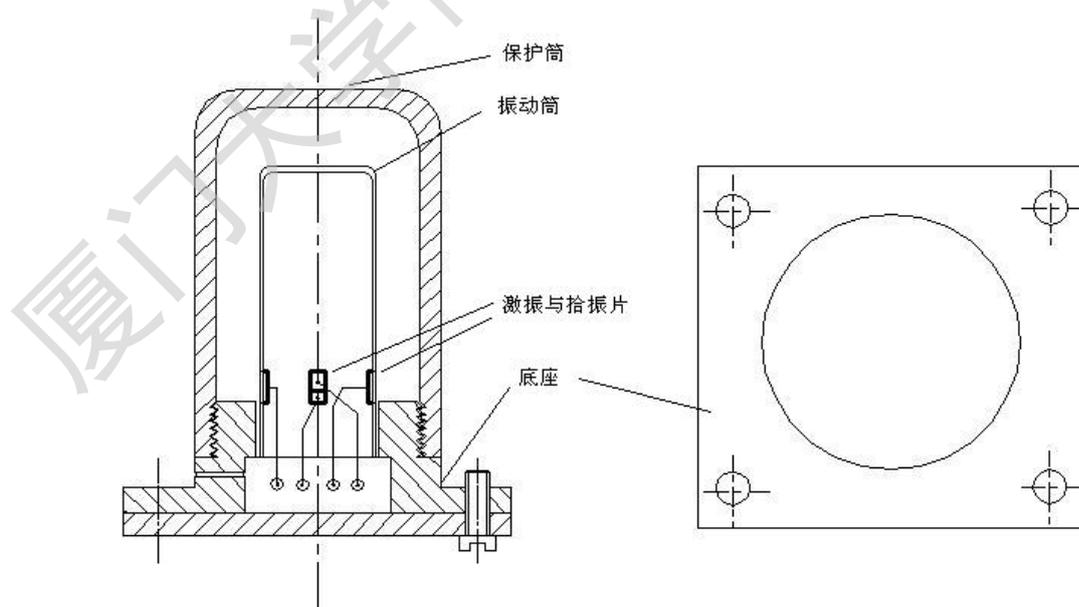


图2.1 振筒传感器剖面图

微质量振动筒的结构如图 2.1 所示，其结构主要包含谐振筒、拾振与激振元件、保护筒和底座。激振元件（压电激励方式，用特定的胶将压电陶瓷粘贴在振动筒内壁上）产生机械振动，带动振筒产生谐振。当筒壁上附着有微小质量时，就会改变振筒的共振频率。那么我们就可以通过测量振筒改变的振动频率，从而测得相应的微质量。当然中间还要有标定的过程。

### 2.2.3 测量电路

当附着的微小质量变化时，振筒上的共振频率也发生变化。振动筒谐振频率的变化反应了微质量的变化。薄壁筒的持续振动由激励元件维持。检振元件的信号被移相、放大后，一部分反馈到激励线圈，形成正反馈振荡回路。传感器内置有温度传感器，用于测量振动筒传感器的温度，以使用来进行温度修正。如图 2.4 所示。其单个振动筒的实物图如图 2.5 所示。

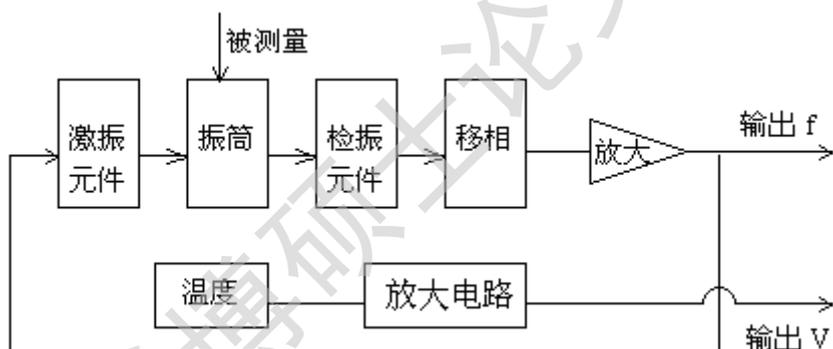


图 2.4 振筒式传感器的原理框图



图 2.5 单个振筒式传感器

## 2.2 双振筒传感器的微质量测量

在测量微质量时，我们知道不仅附着在筒壁上的微小质量会改变振筒固有频率，外界因素如湿度、气压、温度等也会对振筒的固有频率产生影响。

为了消除测量的外界干扰，提高测量精度，在单个振筒传感器的基础上，利用两个振筒来测量微质量。微质量测量系统中共用两个振筒，一个作为测量振筒，一个作为参考振筒。测量时两振筒都处于相同的外界环境下，这样两路的频率之差就能将外界的干扰如湿度、气压等的影响相抵消。其双振筒传感器由两个振筒组成。其外观如图 2.6 所示。



图 2.6 双振筒振筒外观

### 2.3 小结

本章主要介绍了单个微质量振筒传感器的构造，包括它的外形、各个部分的构造及功能和用它来测量微质量的基本原理。

为弥补环境因素如湿度、气压、温度等对测量的影响，再介绍了用双振筒来测量微质量，这样就可以抵消外界因素的影响。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库