

# Research and Development of a New Electrostatic Resonant Accelerometer

Dai Huang Kai Wei Wen Sun Jiale Chen

School of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing, 401331, China

## Abstract

Electrostatic Force Microscope (EFM for short) is a microscope technology that uses the electrostatic force between atoms as a medium to reflect the shape and image of objects through the expression of electrostatic force. It is mainly a microscopical technology that the probe runs along the track on the sample and carries charges on both the probe and the sample. The electrostatic force between the probe and the sample can well show the change of the sample's charge and the change of the electrostatic force. At the same time, it can also well show the electric potential energy and charge distribution on the sample surface and can also show the charge distribution.

## Keywords

electrostatic force microscopy; probe; appearance; resonant; accelerometer

## 一种新型静电谐振式加速度计的研究与开发

黄岱 魏铠 孙文 陈嘉乐

重庆科技学院机械与动力工程学院, 中国·重庆 401331

## 摘要

静电力显微镜 (Electrostatic Force Microscopy, 简称EFM) 是一种利用原子之间的静电力来作为媒介, 通过静电力的表现来反应物体的形貌以及成像的一种显微镜技术。它主要是通过探针在样品上面沿着轨迹运行, 同时探针与样品之上都携带电荷, 通过他们两个之间的静电力作用, 可以很好地表现样品的电荷变化情况以及静电力的变化情况, 同时也可以很好地表现出样品表面的电势能以及电荷分布情况还可以表征出电荷分布情况的一种显微镜技术。

## 关键词

静电力显微镜; 探针; 形貌; 谐振; 加速度计

## 1 引言

静电力显微镜技术是在1981年隧道扫描显微镜技术发明之后在其基础之上进行改善研究开发出来的, 它主要通过探针与样品之间的力的作用, 此力特指长程静电力, 由于该力稳定且易测量所以选用该力, 通过力来表现样品的表面形貌, 表面电势, 表面电荷分布等。该技术自研发以来中国和其他国家各机构、组织都对其一直在进行研究与开发, 现在的静电力显微镜技术正逐步走向成熟, 其对微观测量的作用也越来越大, 有着更加广的适用性。对静电力显微镜技术进行研究之后, 引用静电力显微镜的原理, 将其应用于加速度计领域, 研究与开发出一种新型静电谐振式加速度计。

【基金项目】重庆科技学院科技创新项目(项目编号: YKJXC2020320)。

【作者简介】黄岱(1997-), 男, 中国重庆人, 在读硕士, 从事智能制造研究。

## 2 中国及其他国家研究现状

静电力显微镜的发明首先得谈到扫描隧道显微镜的发明, 1981年 Bining, Rohrer 发明了扫描隧道显微镜技术 (Scanning Tunneling Microscope, 简称 STM), STM 此技术的发明使得人们对世界的观察又进一步, 在这之后, 人们就可以对原子级的结构以及他们的活动过程进行观测与研究。但是他也有着自身的局限性, 局限性主要是由于被测对象只能是导体或者半导体, 就多了很多限制。之后原子力显微镜技术 (Atomic Force Microscopy, 简称 AFM) 的发明就很好地解决了这个问题, 使得这个技术的运用推广到了更加广的领域。可以观测的对象由导体, 半导体被推广到了绝缘体。

原子力是一个统称, 它涵括的有许许多多的力, 其中如果将静电力运用于探针与样品之间的话其就成为了静电力显微镜技术。自静电力显微镜技术发明以来, 国际上就一直在对这一技术进行研究与开发, 首先是对探针进行研究, 经过研究发现, 探针的不同形状会对表面聚集的电荷有影

响,不同的针尖会使得电荷分布不同,球形、圆锥形圆柱形等都经过尝试。

在知道国际上有隧道扫描显微镜技术之后,在中国也紧随其后进行了研究与开发,主要是隧道扫描技术这一技术发明者在1986年获得了物理学诺贝尔奖,因此影响深远,这一技术也被世界所知晓,在被中国知晓之后,中国也很快明白了这项技术的重要性,对这项技术十分重视,对这项技术进行大力研究与开发。在对针尖与样品之间间距的研究之中,发现了范德瓦耳斯力与静电力之间的关系,经过研究发现,在针尖离样品间距比较小的时候,范德瓦耳斯力占主导地位,而当此间距逐渐增大时,静电力会慢慢地占主导地位,同时这两者与 $1/r$ 之间的比例关系也有所不同,静电力与其二次方成比例,而范德瓦耳斯力与其六次方成正比。

### 3 静电谐振式加速度计的研究与开发

#### 3.1 静电谐振式加速度计理论研究

论文从现有的研究背景出发,分析了现有加速度计的优缺点,同时提出了一种新型静电谐振式加速度计,将谐振器与静电力有机结合,将难以测量的加速度转化为易于检测的频率测量。通过对不同的静电力进行作用再对频率进行测量验证装置的合理性以及实用性。此装置可为市场提供一种新型加速度计,装置测量精准,对微小加速度反应灵敏。

如图1所示,此为加速度计的原理图,本装置会设置一可导电的质量块和两个带有电极的谐振器,两个谐振器分别位于质量块的两侧,向质量块与谐振器之间施加一直流电压,使谐振器受到一定的静电力,在某一频率下处于谐振状态。图1中箭头方向为质量块振动方向。依靠此装置,可以将难以测量的加速度转化为易检测的频率,通过锁相放大器可以很好地监测频率变化,以此通过频率变化反映加速度的变化情况。

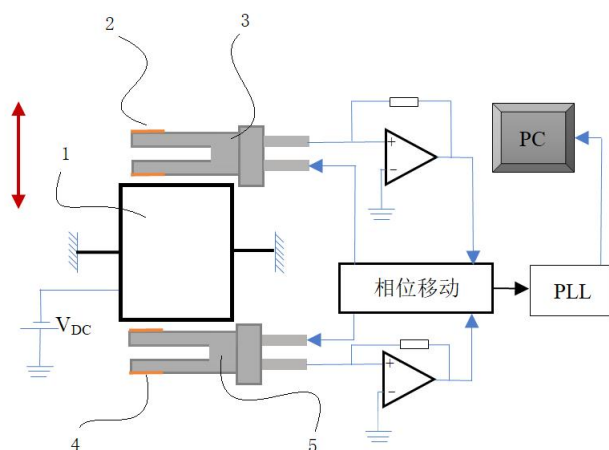


图1 静电谐振式加速度计原理图

#### 3.2 元器件选型以及实验平台搭建

在完成此加速度计的设想之后,本团队开始进行实验平台的搭建,检测装置采用 Zurich Instruments 的 HF2LI 型

号数字锁相放大器。传感装置采用石英圆柱晶振,为了将石英圆柱晶振接入检测电路中,需通过进行夹具的设计将石英圆柱晶振与锁相放大器的输入和输出通道进行连接。首先,在夹具的设计过程中,需要将石英圆柱晶振进行固定,但石英圆柱晶振属于消耗件,需要进行不定期的拆卸以及清洗,因此选择了图2(a)的排针插座进行晶振的夹持元器件。然后,通过连接线将排针插座与锁相放大器设备的输入和输出通道进行连接,构成一个完整的检测电路。选择 BNC 连接线与锁相放大器的接口进行连接,但是 BNC 连接线的接头无法与排针插座进行连接,所以选择将 BNC 连接线的另一端改为 SMA 接头,然后通过 SMA 座子进行连接,进而在电路板上与排针插座相连,从而实现完整检测电路的设计。如图2(b)、2(c)所示,为 SMA 转 BNC 连接线和 SMA 座子。



图2 各类元器件

实验数据以及分析:本实验所采用的石英音叉谐振器型号为 DT-38,频率为 32.768 kHz,该音叉带有保护外壳,对带壳的音叉进行测量,将石英音叉谐振器装载在电路当中,通过锁相放大器对其频率进行测量,连续测量三次观测检测结果,发现三次测量的谐振频率分别为 32765.6424 Hz、32762.7514 Hz、32760.6938 Hz,将三次测量的平均值 32764.6959 Hz 与石英音叉谐振器的实际谐振频率 32.768 kHz 进行比较,可得到测量系统的测量谐振频率与石英音叉谐振器的实际谐振频率之间的相对误差为 0.01%,误差很小,说明了系统的测量精度很高。而且三组数据的标准差和方差分别为 0.05453、0.002973,也说明了谐振频率的测量结果准确,三组数据之间的离散程度和相对于平均值的偏离程度都很小。由此可得出本装置可以实现频率测量以及检测功能(见图3)。

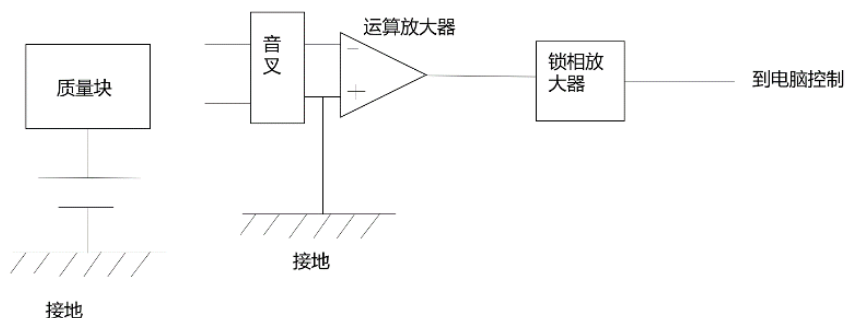


图3 实验平台搭建

大器可以实时反映质量块频率变化情况，给予质量块一加速度，测量其频率变化情况，得到结果如图4所示。

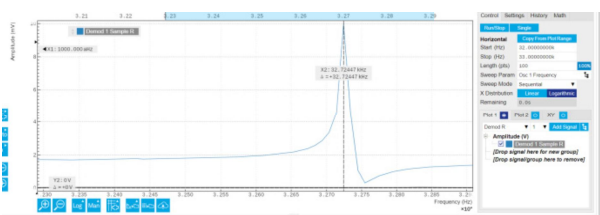


图4 质量块频率变化情况

根据测量结果得出：当质量块上存在有加速度时，质量块与音叉之间的距离将会产生变化，使得质量块与音叉之间的静电力随之而变化，同时由于静电力发生了变化，其频率也随之而改变，并且在锁相放大器中可以很好地检测到这一变化情况。

#### 4 结语

静电力显微镜技术是在1981年隧道扫描显微镜技术发明之后在其基础之上进行改善研究开发出来的，它主要通过

探针与样品之间的力的作用，此力特指长程静电力，由于该力稳定且易测量所以选用该力，通过力来表现样品的表面形貌，表面电势，表面电荷分布等等。该技术自研发以来国内外各机构，组织都对其在一直进行研究与开发，现在的静电力显微镜技术正逐步走向成熟，其对微观测量的作用也越来越大，有着更加广的适用性。在静电力的基础之上，本团队研究与开发出一款静电谐振式加速度计，将质量块的加速度变化情况转化为频率的变化情况，通过将质量块与检测装置通过静电力相连接，使得加速度的位移可以实时反应为频率的变化，再通过检测到的频率的变化情况来反应质量块的加速度变化情况，通过实验验证了其可行性。

#### 参考文献

- [1] 王洪喜,贾建援,赵剑.扫描探针针尖与试样间的静电力分析与建模[J].计算物理,2006(3):371-374.
- [2] 王志勇,张鸿海,鲍剑斌,等.扫描静电力显微镜及其电荷捕获/释放技术[J].电子显微学报,2001(3):232-237.
- [3] 王志勇,鲍剑斌,张鸿海,等.基于微石英晶振的动态非接触静电力显微测量(EFM)技术[J].电子显微学报,2001(5):664-668.