

学校编码: 10384  
学号: 19920101152733

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于静电纺丝的单根 PZT 纳米纤维制备  
与性能检测

The Preparation and Performance testing of a  
single PZT nano-fiber based on electrostatic  
spinning

林智鑫

指导教师姓名: 郭航 教授

专 业 名 称: 机械工程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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  
      年    月    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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

传统压电陶瓷材料具有高的压电系数、高的机电耦合系数等特点，广泛应用于能量转换、传感、驱动、频率控制等领域。相比于传统压电陶瓷材料，纳米尺度的材料有望获得更优异的压电性能，从而在更广阔的领域得到应用。

本文主要研究基于简单高效的静电纺丝工艺的单根 PZT 纳米纤维制备以及性能检测的实验。对所制备的样品进行表征分析，并进行建模得到其纵向伸缩振动等效模型。为了验证所制备样品的性能及模型的准确性，搭建电学检测平台进行验证。论文的主要内容与创新点如下：

1. 研究了静电纺丝法制备 PZT 纳米纤维的实验，包括两个部分。第一，静电纺丝法制备图形化 PZT 纳米纤维流程介绍，主要包括电纺溶液的配制，使用 MEMS 工艺制造含有电极的收集板以及对传统静电纺丝装置进行改进，增加了辅助电源，从而达到收集有序、定向排列 PZT 纤维的目的。第二，对所得的单根 PZT 纳米纤维进行表征，并对热处理前后的样品的 SEM 图与 XRD 物相分析谱图进行分析，得出影响样品的三个原因。

2. 根据压电材料的第四类压电方程，对单根 PZT 纳米纤维纵向振动模式进行数学建模，得出它的机电等效电路模型。利用有限元分析软件 ANSYS 和阻抗分析仪测试相结合，确定出单根 PZT 纳米纤维频率特性，并通过谐振法确定纳米纤维的其他材料参数与等效电路参数。

3. 研究了电学检测原理及其结构。搭建  $\pi$  型传输线路模型以及后端处理电路，利用基于 DSP 的振动信号采集电路对信号进行采集，检测出 PZT 纳米纤维的谐振频率点，对长度为  $100\ \mu\text{m}$ ，半径  $50\text{nm}$  的 PZT 纳米纤维的频率特性进行验证。

**关键词：**静电纺丝；等效电路；信号采集

## Abstract

Traditional piezoelectric ceramic material has high piezoelectric coefficient and electromechanical coupling coefficient. So they are widely used in the field of energy harvesting, sensing, driving, and frequency controlling. Compared to conventional piezoelectric ceramic materials, nanoscale materials are expected to be more excellent piezoelectric properties and applied in a wider area.

In this paper, we study the preparation and performance testing of single PZT nanofibers, which base on the single and economical eletrospinning method. Then the prepared samples are characterized, analyzed and modeling to obtain its equivalent model of longitudinal vibration. In order to verify the performance of the prepared samples and the accuracy of the model, we build electrical testing platform for authentication.

1. Studied the experiment of preparation of PZT nanofibers by electrospinning method contains two parts. Firstly, the introduction of the fabrication of graphical PZT nanofibers by electrospinning includes: the confecting of electrospinning solution;the collection plate with electrodes fabricated by MEMS technology; the improvement on the traditonal electrostatic spinning device with the extra auxiliary power, which achieve the purpose of collecting orderly arrangement,directional PZT nanofibers.. Secondly, the single nano-fiber is characterizd and analyzd through SEM image and the XRD phase analysis spectra after heat treatment. Then we conclude three reasons which affect the sample.
2. According to the fourth class piezoelectric equation of piezoelectric materials, a mathematical modeling of the single PZT nano-fiber in the Vertical vibration mode is built. Combined the finite element analysis software ANSYS and the impedance



analyzer, we determine the frequency characteristics of the single PZT nanofibers. Other material parameters and the equivalent circuit parameters are determined by resonance method.

3. Studied the electrical detection principle and its structure, then build  $\pi$ -type transmission line model and back-end processing circuit with DSP-based vibration signal acquisition circuit. the resonant frequency point of the Length of 100 $\mu$ m, 45nm radius of single PZT nanofibers are detected and verified.

**Keywords:** Electrospinning; Equivalent Circuit; Signal Acquisition

目 录

摘 要.....	1
Abstract.....	11
<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 纳米材料与纳米纤维.....	1
1.2 静电纺丝技术概述.....	2
1.2.1 静电纺丝技术.....	2
1.2.2 静电纺丝应用和发展前景.....	3
1.3 压电陶瓷材料.....	5
1.3.1 压电效应.....	5
1.3.2 发展概述.....	6
1.3.3 应用以及局限性.....	8
1.3.4 压电陶瓷纤维的制备方法.....	10
1.4 检测技术.....	12
1.5 本论文的研究内容.....	13
<b>第二章 PZT 纳米纤维的制备和表征</b> .....	<b>15</b>
2.1 静电纺丝技术的基本原理.....	15
2.2 稳态射流的动态平衡分析.....	17
2.2.1 质量守恒方程.....	18
2.2.2 动量平衡方程.....	19
2.2.3 电荷守恒方程.....	21
2.2.4 电场方程.....	22
2.3 图形化 PZT 纳米纤维的制备.....	23
2.3.1 电纺溶液的配制.....	23

2.3.2 实验平台.....	25
2.3.3 收集板设计与制作.....	26
2.3.4 静电纺丝电场分析.....	27
<b>2.4 单根 PZT 纳米纤维制备、表征与分析.....</b>	<b>29</b>
2.4.1 单根 PZT 纳米纤维的制备与表征.....	29
2.4.2 X 射线衍射分析.....	31
2.4.3 实验结果分析.....	33
<b>2.5 本章小结.....</b>	<b>37</b>
<b>第三章 单根 PZT 纳米纤维等效模型.....</b>	<b>38</b>
3.1 压电陶瓷纤维振动模式.....	38
3.2 压电材料参数.....	38
3.3 四类边界条件及压电方程.....	41
3.3.1 四类边界条件.....	42
3.3.2 压电方程.....	43
3.4 单根 PZT 纳米纤维等效电路模型.....	45
3.5 单根 PZT 纳米纤维性能测试.....	50
3.5.1 纳米纤维谐振频率测试.....	50
3.5.2 纳米纤维介电、压电和弹性常数的测定.....	54
3.5.3 单根 PZT 纳米纤维等效电路参数的测定.....	56
<b>3.6 本章小结.....</b>	<b>58</b>
<b>第四章 单根 PZT 纳米纤维电学检测.....</b>	<b>60</b>
4.1 传输线路法电路.....	60
4.2 电流电压转换电路.....	62
4.3 带通滤波电路.....	62
4.4 模数转换电路.....	64
4.4.1 AD9280 工作时序.....	65
4.4.2 AD9280 模数转换电路连接.....	65

---

4.5 信号采集电路.....	67
4.5.1 DSP 芯片的选择及其特点 .....	67
4.5.2 TMS320LF2407 芯片的接口电路.....	68
4.5.3 信号采集电路的软件设计.....	70
4.6 信号采集实验及结果.....	71
4.7 本章小结.....	74
<b>第五章 总结和展望 .....</b>	<b>75</b>
5.1 总结.....	75
5.2 展望.....	76
<b>参考文献 .....</b>	<b>78</b>
<b>攻读硕士期间发表的论文 .....</b>	<b>84</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>85</b>

## Contents

<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Nano-materials and nano-fibers</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Electrospinning Technology Overview</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 Development history of electrospinning .....	2
1.2.2 Research focus of electrospinning .....	3
<b>1.3 Piezoelectric ceramic materials</b> .....	<b>5</b>
1.3.1 Piezoelectric effect .....	5
1.3.2 Development Overview .....	6
1.3.3 Applications and limitations .....	8
1.3.4 Preparations of the piezoelectric ceramic fiber .....	10
<b>1.4 Detection technology</b> .....	<b>12</b>
<b>1.5 Framework of this thesis</b> .....	<b>13</b>
<b>Chapter 3 Preparation and characterization of PZT nanofibers</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Basic principles of electrospinning</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Homeostasis analysis of steady state jet</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Mass conservation equation .....	18
2.2.2 Momentum balance equation .....	19
2.2.3 Charge conservation equation .....	21
2.2.4 Electric field equation .....	22
<b>2.3 Preparation of graphical PZT nanofibers</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 Preparation of electrospinning solution .....	23
2.3.2 Spinning experiment platform .....	25

2.3.3 Design and production of collector .....	26
2.3.4 Analysis of electrospinning electric field.....	27
<b>2.4 Single PZT nanofibers preparation, characterization and analysis .....</b>	<b>29</b>
2.4.1 Single PZT nanofibers Preparation and Characterization .....	29
2.4.2 X-ray diffraction analysis.....	31
2.4.3 Analysis of experimental results .....	33
<b>2.5 Conclusion .....</b>	<b>36</b>
<b>Chapter 3 The equivalent model of single PZT nanofibers .</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Vibration mode of piezoelectric ceramic fibers .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 The piezoelectric material parameters.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3 Four boundary conditions and the piezoelectric equations.....</b>	<b>41</b>
3.3.1 Four boundary conditions .....	42
3.3.2 The piezoelectric equation.....	43
<b>3.4 Equivalent circuit model of single PZT nanofibers.....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 Performance testing for single PZT nanofibers.....</b>	<b>50</b>
3.5.1 Nanofibers resonant frequency test.....	50
3.5.2 The determination of the elastic, dielectric and piezoelectric constants .....	54
3.5.3 Single PZT nanofibers equivalent circuit performance test .....	56
<b>3.6 Conclusion .....</b>	<b>58</b>
<b>Chapter 4 Electrical detection of the single PZT nanofibers</b>	<b>60</b>
.....	
<b>4.1 The circuit of transmission line method.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2 Current-voltage conversion circuit.....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Band-pass filter circuit .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4 Analog-digital conversion circuit.....</b>	<b>64</b>
4.4.1 AD9280 timing diagram .....	65

---

4.4.2 AD9280 connect circuit .....	65
<b>4.5 Vibration signal acquisition and processing circuit .....</b>	<b>67</b>
4.5.1 Choice of DSP and its feature .....	67
4.5.2 TMS320LF2407 connect circuit .....	68
4.5.3 Software design of signal acquisition and processing.....	70
<b>4.6 Test results of acquisition .....</b>	<b>71</b>
<b>4.7 Conclusion .....</b>	<b>74</b>
<b>Chapter 5 Summary and prospect .....</b>	<b>74</b>
5.1 Summary.....	74
5.2 Future work and prospect.....	75
<b>Reference .....</b>	<b>77</b>
<b>Publications .....</b>	<b>83</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>84</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库



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