

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 19920071151191

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 MEMS 技术的超声微型手术刀的研究

Investigation on an Ultrasonic Micro-knife Based on MEMS

Technology

邹黎明

指导教师姓名: 郭航 教授

专业名称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2010 年 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 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 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

摘要

随着近 20 年来 MEMS 技术的快速发展, 近来, 如何将 MEMS 技术应用于医疗外科手术越来越受到研究人员的关注。本文研究了一种基于 MEMS 技术的超声微型手术刀, 刀体集成有三轴应力传感器, 并且设计了微制造工艺流程。论文的主要贡献与具体创新点主要如下:

1. 比较了不同压电材料的优缺点, 并确定了采用 PZT-4 作为微型手术刀的驱动器。微型手术刀基于半波长的变幅杆共振设计。在利用解析法和有限元法对单一指数形的变幅杆和圆锥形的变幅杆进行分析比较基础上, 我们设计了刀体采用复合变幅杆结构, 刀头带有齿状结构的超声微型手术刀, 并首次提出了全偏心和半偏心两种结构。研究表明: 采用对称结构的微型手术刀只沿着纵向做往复振动, 而采用全偏心或半偏心结构的手术刀在纵向振动的同时还伴有横向振动。此外, 我们还对微型手术刀进行相应的振动测试工作。

2. 详细研究了在三个方向作用力下刀体的应力分布情况, 并利用半导体压阻效应设计了相应的压阻式应力传感器。其中, X 轴和 Y 轴采用惠斯顿半桥电路, Z 轴采用惠斯顿全桥电路。在探讨两种不同供电方式优缺点的基础上, 确定采用恒压源作为应力传感器的供电方式。同时, 我们还设计并确定了传感器的压敏电阻的结构、尺寸和阻值。

3. 在研究 MEMS 工艺基础上, 结合厦门大学萨本栋微纳米技术研究中心工艺设备情况, 设计出超声微型手术刀的微制造工艺流程以及相应的掩膜板。根据微制造实验结果, 提出了部分工艺改进措施。并通过优化实验的结果表明, 采用上述方法能有效改善工艺过程中存在的问题, 从而获得更好的器件。

关键词: 微型手术刀 功率超声 应力传感器 微制造

Abstract

Recently there has been greatly interested in the use of MEMS for surgery due to the rapid development of MEMS technology during the past 20 years. In this thesis, we research on an ultrasonic micro-knife based on MEMS technology, and 3-axis stress sensors are integrated on it. The main contents of my works are summarized as follows:

1. Compared with the different piezoelectric materials, we use PZT-4 as the micro-knife drive. The micro-knife is designed to operate on its half-wavelength resonance. Based on the results of the exponential horn and the linear horn which are used analytical method and finite element method, we design an ultrasonic micro-knife with a zigzag as cutting and a multiple horn. And we firstly present a partially unsymmetrical structure and a totally unsymmetrical structure. The results show that: when the shape of the micro-knife is totally symmetrical there is no any displacement in transverse direction, but if the shape of the micro-knife is partially unsymmetrical or totally unsymmetrical, the displacement in transverse direction will occur besides the longitudinal direction. In addition, we also carry out the micro-knife vibration testing.

2. The stress distribution of the micro-knife under the forces in three directions is studied. The corresponding piezoresistive stress sensors are designed with the semiconductor piezoresistive effect. Where, a half Wheatstone bridge is used in X axis and Y-axis, a full Wheatstone bridge is used in Z-axis. Based on the advantages and disadvantages of two different power supplies, we use constant voltage source for the stress sensors. We also design the structure, size and resistance of the piezoresistors.

3. Combined with the processing equipment of Pen-Tung Sah micro-nano technology research center of Xiamen University, we design the micro-fabrication process and the corresponding mask of the ultrasonic micro-knife. According to the

micro-manufacturing test result, some processes are improved. The results of the optimizing experiment show that these methods can effectively improve the problem in the process, and gain a better device.

Keyword: Micro-knife; Power ultrasonic; Stress sensors; Microfabrication

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 MEMS技术	1
1.1.1 MEMS概述	1
1.1.2 MEMS应用	2
1.2 超声技术	5
1.3 本论文研究的背景和内容	5
1.4 本论文的架构	8
第二章 超声微型手术刀的刀体设计	10
2.1 超声波及压电材料	10
2.1.1 超声波	10
2.1.2 压电材料	11
2.2 超声微型手术刀的工作原理	14
2.3 超声变幅杆的设计分析方法	15
2.3.1 解析法	15
2.3.2 等效网络法	15
2.3.3 有限元法	16
2.4 超声单一变幅杆的设计与分析	17
2.4.1 单一变幅杆的基本理论	17
2.4.2 单一变幅杆的解析分析	18
2.4.3 单一变幅杆的有限元分析	20
2.5 超声微型手术刀的设计与分析	25
2.5.1 复合变幅杆的基本理论	25
2.5.2 超声微型手术刀的分析	26
2.6 超声微型手术刀的振动实验	32
2.6.1 压电陶瓷PZT-4的选择	32
2.6.2 超声微型手术刀的振动测试	34
2.7 本章小结	37

第三章 超声微型手术刀的应力传感器设计	38
3.1 压阻效应的相关理论	38
3.1.1 压阻效应	38
3.1.2 压阻系数	39
3.2 压阻式应力传感器的设计	41
3.2.1 X轴方向压敏电阻的布置	42
3.2.2 Y轴方向压敏电阻的布置	44
3.2.3 Z轴方向压敏电阻的布置	47
3.3 压敏电阻的设计	50
3.3.1 压敏电阻的阻值及尺寸参数	50
3.3.2 设计时需要考虑的其它相关问题	51
3.4 压敏电阻的连接方式及输出灵敏度	52
3.4.1 供电方式	52
3.4.2 测量电路	53
3.4.3 输出灵敏度	55
3.5 本章小结	56
第四章 超声微型手术刀的制造	57
4.1 制造所涉及的关键工艺及流程	57
4.1.1 制造所涉及的关键工艺	57
4.1.2 超声微型手术刀的工艺流程	61
4.2 超声微型手术刀的版图设计	67
4.2.1 版图的设计	67
4.2.2 对准标记的设计	67
4.3 超声微型手术刀的工艺改进	69
4.3.1 选用铬作为DRIE的掩膜材料	69
4.3.2 刀尖部分的版图改进	70
4.3.3 过刻蚀现象的改进	71
4.4 本章小结	73
第五章 工作总结和展望	74
5.1 工作总结	74

5.2 展 望	75
参 考 文 献.....	76
作者攻读硕士学位期间发表论文和科研成果	81
致 谢.....	82

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 MEMS technology	1
1.1.1 Introduction of MEMS.....	1
1.1.2 Application of MEMS.....	2
1.2 Ultrasonic technology	5
1.3 Background and contents of this thesis	5
1.4 Framework of this thesis.....	8
Chapter 2 Design of the ultrasonic micro-knife	10
2.1 Ultrasonic and piezoelectric materials.....	10
2.1.1 Ultrasonic.....	10
2.1.2 Piezoelectric materials	11
2.2 Operating principle of the ultrasonic micro-knife	14
2.3 Analysis methods of ultrasonic horns	15
2.3.1 Analytical method.....	15
2.3.2 Equivalent network method.....	15
2.3.3 Finite element method.....	16
2.4 Design and analysis of ultrasonic single horns	17
2.4.1 Fundamental theory of single horns.....	17
2.4.2 Analytical analysis of single horns	18
2.4.3 Finite element analysis of single horns.....	20
2.5 Design and analysis of the ultrasonic micro-knife.....	25
2.5.1 Fundamental theory of composite horns.....	25
2.5.2 Analysis of the ultrasonic micro-knif.....	26
2.6 Vibration experiment of the ultrasonic micro-knife.....	32
2.6.1 Selection of PZT-4	32
2.6.2 Vibration measurement	34
2.7 Conclusion.....	37

Chapter 3 Stress sensors of the ultrasonic micro-knife	38
3.1 Relevance theory of piezoresistive effect	38
3.1.1 Piezoresistive effect	38
3.1.2 Piezoresistance coefficient	39
3.2 Design of the piezoresistive stress sensors	41
3.2.1 Piezoresistors arrangement in the X-axis direction	42
3.2.2 Piezoresistors arrangement in the Y-axis direction	44
3.2.3 Piezoresistors arrangement in the Z-axis direction	47
3.3 Design of piezoresistors	50
3.3.1 Resistances and dimensions of piezoresistors	50
3.3.2 Other relevant issues to be considered	51
3.4 Connection modes of piezoresistors and Sensitivity	52
3.4.1 Power supply mode	52
3.4.2 Measurement circuits	53
3.4.3 Sensitivity	55
3.5 Conclusion	56
Chapter 4 Fabrication of the ultrasonic micro-knife	57
4.1 Key fabrication techniques and fabrication process flow	57
4.1.1 Key fabrication techniques in manufacturing	57
4.1.2 Fabrication process flow of the ultrasonic micro-knife	61
4.2 Layout design of the ultrasonic micro-knife	67
4.2.1 Layout design	67
4.2.2 Alignment mark design	67
4.3 Process optimization	69
4.3.1 Cr as a DRIE mask material	69
4.3.2 Tip part of the layout optimization	70
4.3.3 Improvement of the over etching	71
4.4 Conclusion	73
Chapter 5 Summary and prospect	74
5.1 Summary	74

5.2 Future work and prospect	75
Reference.....	76
Publications	81
Acknowledgements	82

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

手术是外科的主要治疗方法。其目的是医治或诊断疾病，如去除病变组织、修复损伤、移植器官、改善机体的功能和形态等。早期手术仅限于用简单的手工方法，在体表进行切、割、缝，如脓肿引流、肿物切除、外伤缝合等。随着外科学的发展，手术领域不断扩大，已能在人体任何部位进行。应用的手术器械也不断更新，如手术刀即有电刀、微波刀、超声刀及激光刀等多种。同时，随着近 20 年来 MEMS 技术的快速发展，近来，如何将 MEMS 技术应用于医疗外科手术器械越来越受到研究人员的关注。

本章在介绍了 MEMS 技术和超声技术基础上阐述了本论文所研究的背景和内容，并在最后列出了本论文的构架。

1.1 MEMS 技术

1.1.1 MEMS 概述

MEMS是英文Micro Electro Mechanical Systems的缩写，即微电子机械系统。MEMS是建立在微米/纳米技术（Micro/Nano-Technology）基础上的一个新出现的研究领域和工业，是指对微米/纳米材料进行设计、加工、制造、测量和控制的技术，可将机械构件、光学系统、驱动部件、电控系统集成成为一个整体单元的微型系统。MEMS技术领域是许多学科的汇合，包括电子工程、机械工程、材料科学、微纳制造、生命科学、化学工程、土木和工程环境工程^[1-3]。

作为集成电路（IC）工业的一个分支，MEMS经过了大约 20 年的萌芽阶段，即由 20 世纪 60 年代到 20 世纪 80 年代。在这一时期，虽然只开展了一些关于 MEMS 的零散研究，但是涌现出一些具有重要意义的研究成果。例如，Westinghouse公司的谐振栅晶体管（RGT）^[4]、IBM实验室的薄膜型硅微加工压力传感器及HP公司的喷墨打印机喷嘴等。1982 年，Kurt E. Petersen发表了一篇对MEMS发展有着重要影响的论文“Silicon as a Mechanical Material”^[5]。直到 20 世纪 80 年代末，美国加州大学伯克利分校研制出了基于表面牺牲层技术的

多晶硅静电马达^[6]，被誉为MEMS技术的开端，激起了科学界与普通大众对MEMS的热情。从此，全球对MEMS的研究进入一个崭新的发展阶段。我国的MEMS的研究始于20世纪90年代初，并在“八五”和“九五”国家科技部、中国科学院、国家自然科学基金委和原国防科工委、总装备部、教育部和地方政府的支持下，已在微型惯性器件和惯性测量组合、机械量微型传感器和致动器、微流量器件和系统、生物传感器和生物芯片、微型机器人和微操作系统、硅和非硅制造工艺等方面已取得一定成果^[7-8]。

作为一个典型的MEMS器件，其特征尺寸通常在1 μm 到1mm之间，并具有以下几个特征^[9]：微型化、受重力影响小、功耗低、固有频率高、响应时间短；将不同功能的微传感器和执行器与信号处理电路和控制电路集成在一个芯片上，制造出高可靠性和高稳定性的智能化MEMS；采用先进的微加工技术，可以高精度的批量制造二维、三维结构，且具有一致性好、重复性好等优点。

MEMS的制造技术有别于传统的机械加工和制造工艺，主要基于IC技术和微机械加工技术。其中IC技术主要用于制作MEMS的信号处理和控制电路，而微机械加工技术主要包括：

(1) 体硅微加工技术：一般是指利用蚀刻工艺对块状硅进行准二维结构的微加工，主要包括干法或湿法蚀刻和自停止蚀刻两项关键技术。

(2) 表面微加工技术：一般是采用光刻等手段，使得硅片等基底表面淀积或生长多层薄膜分别具有一定的图形，然后去除某些不需要的薄膜层，从而形成三维结构。

(3) LIGA技术：是德语光刻(Lithographie)、电镀(Galvanoformung)和压模(Abformung)的简称。它是利用X射线光刻技术，通过电铸成型和塑铸形成深层微结构的方法。同时，LIGA在制作非硅基底的微结构上有巨大的潜力。

此外，还有准LIGA技术、键合技术、深反应离子刻蚀技术(DRIE)和微机械组装技术等。

1.1.2 MEMS 应用

1. 在汽车工业领域的应用

汽车工业在过去的20年里已经是MEMS主要的应用市场之一，基于MEMS

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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库