

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 压电振动能量收集机理及其在穿戴设备上的应用研究

选题类别： ☒ 基础性研究 ☐ 应用性研究 ☐ 工程技术攻关研究  
☒ 新开辟的研究方向 ☐ 已有研究方向的继续 ☐ 其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

随着微机电系统(MEMS)、集成电路和无线通讯技术在近年来的不断发展，使得微电子设备、微传感器和可携带设备等微型系统的应用范围不断扩大，电子设备越来越小，功能逐渐增加，尤其在穿戴设备、环境控制系统、人体健康检测系统、军事安全系统等方面得到了广泛的应用。可穿戴设备根据消费群体的相应需求与网络社会紧密相连。例如帮助完成许多关于人体健康数据记录的心率检测器、智能手环；医学领域中代替病变器官，帮助人们完成生理活动的 人工耳蜗、除颤器等人造器官；可以连接网络实现多功能和同步信息的智能手表和眼镜等实现多功能和同步信息。

目前，这些设备主要依靠传统的化学电池提供能源。主要可分为两类：一类是需要定期更换、不可充电、时常拆卸的传统纽扣电池，不仅给使用者带来了不便，而且测量到的数据在传输过程中也会中断而导致丢失；另一种是需要外配充电线、充电座的可充电的锂电池，最长的待机时间也仅为数月。目前，与微机电系统相对应的微型能源收集技术发展相对滞后，主要就表现在传统电池的明显缺陷：(1) 相对于微机械，其体积仍然较大，限制了其进一步微型化；(2) 电池化学毒性污染严重；(3) 供能寿命有限。因此，如何实现微机电系统器件长时间供能是人们研究的重点问题。

将电子器件所处环境中所吸收的微弱能量转化为电能供给后续使用的过程称为能量收集。环境中主要微电能量源包括光、温差、形变、振动、射频(Radio Frequency, RF)信号等。振动收集表现出很强的优势，它是一种不受外界条件干扰的易于收集的能量，在本质上它是利用环境中的振动，通过一个机械元件放大，将外界的振动转化为内部的电位移。它不仅广泛存在于机电设备的高速运转中，也能够从人体的肢体运动、心跳、血液流动中进行收集，十分适用于穿戴设备的研究。尤其是近十年来，由于其较高功率密度、结构简单、易于微型化等优势[6]引起研究者的广泛关注。相较于静电、电磁能量收集装置，压电能量采集器具有结构简单、能量密度高、可与MEMS加工工艺兼容等优点。另外，压电材料将机械能转化为电能无需对外输出能量，效率大大提高。这种优势使其在MEMS尺度的器件实现微加工制造和体积缩放等方面尤其可取。

本研究首先基于压电能量收集技术，分析国内外在基于可穿戴设备上的压电振动能量采集器方面的研究现状，结合面临的挑战和发展趋势，对可用于穿戴设备上的压电能量采集器的工作机理、控制电路设计、影响因素分析等内容进行研究，主要内容规划如下：

(1) 氧化锌能量采集器的结构研究：分析比较电磁式、静电式、压电式能量采集装置的特点，确定压电式能量采集器的优势。结合氧化锌材料压电特性，设计压电式能量采集器的结构。建立结构尺寸数学模型，分析不同的尺寸参数对能量采集器能量收集性能的影响。并进行仿真分析。分析影响压电性能的主要结构参数，在理论模型基础上进行实验，比较理论与实验结果。同时给出能量采集器结构的优化方案，提高能量采集的效率。

(2) 单级能量采集器能量采集电路的研究：能量采集电路对能量采集器收集电能的能力有着巨大的影响，分析比较几种基本能量采集电路的优劣情况，设计能量收集效率更高的电路，并建立机电耦合模型，分析电路收集电能的能力情况，并使用Multisim软件进行仿真分析，模拟在谐振频率下电路的工作情况，得出电路的能量收集效率，确定理论模型的可行性。

(3) 基于压电元件的双级能量回收接口技术研究：研究一种双同步开关电感技术，分析能量回收过程中的能量和内在阻尼的影响。在分析双同步开关电感技术的基础上，提出实现自供能的双同步开关电感电路方案；搭建实验平台，制作PCB板，比较实验结果和理论。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本课题为预先研究，基于此研究储备申报国家自然科学基金。经费自筹。