

2024 年度湖北省科学技术奖公示表（自然科学）

项目名称、提名者及提名意见、项目简介、代表性论文专著目录、主要完成人（完成单位）

项目名称	压电智能结构的多场耦合特征、能量转化与传递规律及其调控机理
提名单位	华中科技大学
提名意见	<p>（不超过 600 字，根据项目创造性特点，科学技术水平和应用情况并参照相应奖类条件写明提名理由和结论性意见，并填写提名意见和提名等级。）</p> <p>该项目依托系列国家自然科学基金重点和面上项目，针对压电智能结构的多场耦合特征、能量转化与传递规律及其调控机理等问题，通过多学科交叉融合开展了系统深入研究，率先建立了压电性与半导体性交互作用下载流子行为与多物理场的耦合动力学模型，阐明了形变势能对费米能级的作用规律，发现了形变势能可以诱发轻、重空穴的能带反转现象，显著提高了载流子迁移率和压电智能结构的机电转化效率；国内外首次提出了压电声透传能思想，提出了结构与电路界面的设计准则及集能量“转化-运输-控制”于一体的主动俘能方法，实现了从低效异步协同到高效耦合联动的跨越；发现了偏场诱导刚度增量效应和频率漂移现象，首次建立了预应力加载构型并阐明了偏场调频机制，实现了从被动俘能到主动调控的跨越；率先提出了组合压电结构的拓扑构型，揭示了输出电荷对动力学性能的作用规律，实现了从窄频间歇俘能到宽频自适应俘能的跨越。项目填补了在压电俘能系统基础理论与控制方面的空白，丰富和发展了电磁固体力学基本理论。所提出的压电声透方法，即能量转化、传递及控制方法，已经应用到我国纳米精度 IC 制造装备的精密减振控制中，成功实现了减振降噪，为我国高端装备制造业发展提供了重要的相关理论基础。5 篇代表作发表在 Nano Energy 和 IEEE UFFC 等权威期刊上，WOS 他引 509 次，得到了 39 个国家 225 个研究机构同行的肯定与好评，包括 8 名院士、33 名学会 Fellow 和 21 名期刊主编。项目中多项自然科学发现为国内外首次提出，多项科学理论为国内外首次阐明。在学术上处于国际领先水平，对电磁固体力学的发展有重要意义，并且得到国内外自然科学界广泛高度评价。</p> <p>提名该项目为 2024 年度湖北省自然科学奖 <u> </u> 一 <u> </u> 等奖</p>
项目简介	<p>压电智能结构的机电转换功能是由多场耦合作用引起的特有属性，其能量转化与传递规律是压电电子器件的工作基础。阐明这类多场耦合的作用机理并改造耦合作用特征，促使能量转化与传递规律多样化，将对压电电子装备的功能设计和微电子器件的性能提升产生推动作用。特别是在电子技术和材料科学迅速发展的今天，压电智能结构的多场耦合作用逐渐涉及载流子行为和电路非线性反馈等复杂物理过程，结构的动力学特征发生了本质变化。项目针对载流子行为与多场耦合的交互作用机理、电路非线性对结构动力学特征的作用规律以及相关的调控机制进行了深入研究，取得了一系列创新性成果，主要如下：</p> <p>1. 建立了载流子行为与多物理场耦合的动力学模型，提出了压电性与半导体性交互作用的有效算法，阐明了载流子行为与多场耦合的作用机理及形变势能对能带结构的影响规律，发现了形变势能可以诱发轻、重空穴的能带反转现象。这个</p>

<p>能带反转现象能显著提高载流子迁移率,进而提升压电智能结构的机电转化效率。欧洲科学院院士德国 Zhang、哈工大 Wang、ASME Fellow 美国 Pan 等认为项目组针对 ZnO 的机电效应开展了富有洞察力的研究,得到了压电性与半导体性耦合的经典解,为多场耦合调控提供了独特的机会。</p> <p>2. 提出了压电声透能量传递方法,发现了界面电感属性可以降低结构的变形刚度、电路占空比可以匹配能量转化与传递过程中的电压不平衡现象,提出了整流界面设计准则,阐明了能量转化与传递在多时间尺度上的耦合作用规律及其控制策略。SPIE Fellow 美国 Yoseph、IEEE Fellow 美国总统奖获得者 Kam 等认为 Hu 等提出了压电声透传能思想;澳大利亚国防部科技局在其 DSTO 报告中认为 Hu 等首次提出了压电声透概念和声电馈通传能方法。</p> <p>3. 发现了偏场诱导刚度增量效应和频率漂移现象,构建了初应力加载构型并阐明了偏场调频机制。率先提出了组合压电结构的拓扑构型,揭示了电路反馈性态对结构动力学性能的作用规律,提出了系统共振频率的调控新方法。ASME、AIAA 等多学会 Fellow 美国 Inman 认为项目组提出了偏场调频方法,对机电耦合效应改善显著;IEEE Fellow 美国 Weber 认为压电结构组合构型是在宽频环境振动中高效俘能的有效方法;IP Fellow (UK) 澳大利亚 Li 认为偏场调频很有意义,该项目研究为调控压电结构的动力学性能建立了理论框架;特别是 Helmholtz 奖得主德国 Woias 实验证实了偏场调频方法的有效性。</p> <p>研究成果开拓了新的研究方向,填补了当前在压电智能结构基础理论与控制方面的空白,丰富并发展了电磁固体力学基本理论,压电声透方法已经应用到我国纳米精度 IC 制造装备的精密减振控制中,成功实现了减振降噪。5 篇代表作发表在 Nano Energy 和 UFFC 等期刊上,WOS 他引 509 次,得到了 39 个国家 225 个研究机构同行的肯定与好评,包括 8 名院士、33 名学会 Fellow 和 21 名期刊主编,特别得到了原 UFFC 副主编美国 Yang 在综述文章中的高度评价:“HUST 团队在压电声透、压电俘能、偏场方法和能量转化方面做出了系统性甚至引领性贡献”。第一完成人担任 Acta Mechanica Sinica 常务副主编,是中国力学学会理事,湖北省力学学会理事长,主持过 5 次重要的国内外学术会议,发起了江苏湖北浙江三省力学交流平台,应邀在国际著名力学评论刊物 Appl. Mech. Rev.上发表综述性论文,5 次进入 Elsevier 中国高被引学者榜。</p>						
主要完成人 (完成单位)		胡元太(华中科技大学),薛欢(湖北工业大学),胡洪平(华中科技大学),杨万里(华中科技大学),范帅棋(暨南大学)				
序号	论文(专著)名称/刊名/作者	年、卷、页码	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者
1	Exact solutions to the electromechanical quantities inside a statically-bent circular ZnO nanowire by taking into account both the piezoelectric property and the semiconducting performance: Part I—linearized analysis/ Nano Energy/ Shuaiqi Fan, Yuxing Liang, Jiemin	2017 年,第 40 卷,82-87	2017 年 11 月 03 日	胡元太	范帅棋	范帅棋,梁禹星,谢捷敏,胡元太

	Xie, Yuantai Hu					
2	Electronic band energy of a bent ZnO piezoelectric semiconductor nanowire/Applied Mathematics and Mechanics/Wanli Yang, Yuantai Hu, Ernian Pan	2020 年, 第 41 卷: 833-844.	2020 年 05 月 27 日	胡元太	杨万里	杨万里, 胡元太
3	Transmitting electric energy through a metal wall by acoustic waves using piezoelectric transducers/IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control/ Yuantai Hu, Xuesong Zhang, Jiashi Yang, Qing Jiang	2003 年, 第 50 卷: 773-781.	2003 年 07 月 01 日	胡元太	胡元太	胡元太
4	Piezoelectric power/energy harvesters, in Analysis of piezoelectric structures and devices/北京, 高等教育出版社/Yuantai Hu, Huan Xue, Hongping Hu	2013 年, 第三章, 71-111.	2013 年 06 月	胡元太	胡元太	胡元太, 薛欢, 胡洪平
5	Broadband piezoelectric energy harvesting devices using multiple bimorphs with different operating frequencies/ IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control/Huan Xue, Yuantai Hu, Qingming Wang	2008 年, 第 55 卷, 2104-2108	2008 年 09 月 01 日	胡元太	薛欢	薛欢, 胡元太