

**上海交通大学微电子学院
教学科研职位申请材料**

申请人：沈智元 博士

日期：二零二零年十二月廿九日

个人简历 沈智元 博士

地址: Flat 6, Park Mansions, Meridian Place 19, Bristol, UK, BS81JJ

Email: shenyuan675603@gmail.com 电话: +447704252438

教育背景

- 2008–2012 博士, 工程力学, 微机械第一实验室, 机械与宇航工程学院, 南洋理工大学, 新加坡, 导师: 缪建民副教授
- 2005–2008 硕士, 电子科学与技术, 电子材料研究所, 电信学院, 西安交通大学(推荐免试), 导师: 汪宏教授
- 2001–2005 学士, 微电子与固态电子学, 航天学院, 哈尔滨工业大学

工作经历

- 2016 至今 博士后 (Senior Research Associate), 生物学院。导师: Marc Holderied 教授, Bruce Drinkwater 教授, 布里斯托大学, 英国
- 2015 至 2016 博士后 (Postdoctoral Associate), 环境感测与模拟中心(CENSAM), 新加坡-麻省理工学院学术联盟 (SMART), 导师: Michael Triantafyllou 教授 (麻省理工学院)
- 2012–2014 Scientist I, 传感器与换能器项目组, 材料科学与工程研究院(IMRE), 新加坡科技发展局 (A*Star), 新加坡, 项目负责人: 姚奎博士

参与过的项目

- 2016至今, 《昆虫声学伪装与隐身机理》。BBSRC与EPSRC资助项目。该项目主要研究鳞翅目昆虫的声学隐身效应, 开创了仿生声学超材料的全新研究方向。该项目的最新进展连续两篇被国际权威期刊PNAS杂志接收 (包括一篇封面文章), 并获得国际媒体如BBC, Science, PBS NOVA的报道。
- 2015至2016, 《用于输液管中流速测量的仿生流体传感器》, 新加坡-麻省理工学院学术联盟创新基金。该项目研究了鱼侧线中的纤毛传感器, 利用MEMS技术通过压电压阻传感原理设计实现了高灵敏度流速传感器与压力传感器。申请人将这类传感器集成于水下机器人与无人驾驶水下航行器上, 使得机器人能更好地感知周围环境获得更高机动性。申请人也将这类传感器应用于医疗器械如输液管与呼吸器中测量低流速液流与气流(1毫升/小时)。
- 2012-2014, 《用于飞机部件屈服检测的超声无损检测器件与方法》(28.2万新币), 项目由法国航空公司SAFRAN资助。申请人作为项目副负责人 (Co-PI) 起草了项目书并管理5人团队。该项目设计实现了利用超声波在金属板中的非线性传播检测飞行器板材中屈服的发生的超声传感器与无损检测方法。
- 《直写超声换能器》, 项目由巴西航空公司Embraer资助, 申请人利用直写技术在金属部件表面直接集成图案化的压电塑料薄膜和金属电极, 进而实现超声传感器网络。申请人实现了利用该传感器网定位金属板材中的缺陷与检测缺陷严重程度的算法。
- 《用于机械振动检测的无线压电加速度计》, 项目由新加坡公司Hoestar资助, 项目为该公司研发了加速度计原型。该加速度计基于压电薄膜MEMS技术, 实现了同一封装结构中传感器, 信号处理, 无线收发模块的系统化集成。所实现的原型在尺寸上优于市场上的主流无线加速度计产品。
- 2008-2012, 博士论文: 《压电微机电系统声学传感器与能量采集器的实验研究》。申请人在博士期间设计优化了一种带有双面螺旋电极的压电圆片振子, 该振子工作于d33模态, 相较于传统的工作于d31模态的压电三明治结构有更高的灵敏度。申请人系统表征了这种压电振子的振动与声波收发特性, 并将该振子应用于振动能量采集器的设计。
- 2005-2008, 硕士论文: 《多带隙可调电磁带隙结构的制备与机理研究》, 中国自然科学基金。该项目将微波高介电常数陶瓷铌酸钽引入电磁超材料的设计, 利用机械加工与3D打印制备了二维与三维周期性电磁带隙结构, 仿真并测量了超材料与微波的相互作用。

实验与软件技能

- 关于微机电系统(MEMS), 超材料, 仿生设计, 功能电介质材料, 微电子, 声学 & 超声无损检测, 微波工程方面的系统知识与实践经验
- 微加工: 光刻, 激光直写光刻, 硅片键合, 化学气相淀积, 溅射, 反应离子刻蚀, 深层反应离子刻蚀, 金线键合, 硅片切割, 湿法刻蚀, 喷墨打印
- 微流体: PDMS 和 SU-8 微流道, 粒子图像测速, 颗粒分布分析仪, 蠕动泵

- **材料与器件表征:** 压电铁电材料参数测量, 阻抗频谱, 矢量网络分析仪, 扫描多普勒激光测速仪, 机械振动测试系统, 超声无损检测, 消声室内声学传感器测试, 数字/模拟信号采集系统, 台阶仪, 共焦图像形貌仪, 扫描电子显微镜, 机械拉伸强度测试机, 声学断层成像技术
- **生物材料分析与表征:** 昆虫组织处理, 激光扫描共焦显微镜, 同步辐射 X 射线显微镜, 三维图像处理
- **陶瓷材料工艺:** 陶瓷固相烧结, 三维打印快速成型复杂结构陶瓷件, 陶瓷/聚合物复合材料, 粒径分布激光测试系统, 热重分析, 浆料流变性能表征, 等静压成型
- **软件:** 精通 COMSOL, ANSYS, Matlab, L-Edit; 熟悉 Solidworks, LabView, Maple

教学经验

在南洋理工大学担任本科生课程助教:《超声无损检测》,《功与能》,《材料的拉伸与粘弹性特性》; 在 IMRE 期间指导本科实习生一人(半年); 在布里斯托大学期间指导本科生毕业设计 6 人(每人 8 周); 教授布里斯托大学本科课程《无人机控制与应用》中的仿生拍翅机的课程单元

奖励

- 2008–2012 新加坡政府奖学金
- 2005 黑龙江省优秀本科毕业生
- 2005 哈尔滨工业大学优秀毕业生

专业行会

2018 至今 英国声学联盟(UK Acoustics Network)会员

2014 至今 电气和电子工程师协会(IEEE)会员

2014-至今 IEEE 超声, 铁电与频率控制分会(UFFC)会员

期刊与会议审稿

Elsevier 出版社学术专著评审; IEEE Sensors Journal; Journal of Micromachining and Microengineering; Smart Materials and Structures; Sensors; IEEE MEMS conference; NDT&E International; Journal of Vibration and Acoustics; Advances in Mechanical Engineering

创业

SMART 创业课程(SMART Innovation Fellows Program), 由新加坡-麻省理工联盟创新中心提供的为期五个月的创业培训课程, 课程由麻省理工斯隆商学院与欧洲工商管理学院(INSEAD)教师教授, 旨在帮助理工背景的科技人员获得创业与公司运营的相关知识。

国际交流

- 2018 二月, Diamond light source 同步辐射源, 表征蛾子鳞片纳米三维结构. Harwell, 英国
- 2016 十月, COMSOL 软件培训, 声学仿真模块培训, 剑桥, 英国
- 2016 五月, Innovfest unBound 2016 展览会, 新加坡。(负责技术展示)
- 2016 三月, IoT ASIA 亚洲互联网国际展览会与研讨会, 新加坡。(负责技术展示)
- 2013 十一月, 德国慕尼黑工业大学研究交流周

语言

中文, 英语, 德语 (于新加坡歌德学院完成 B2.1 级别课程)

论文清单

国际期刊论文

根据《2019年中国科学院文献情报中心期刊分区表》，发表论本包括1区一作2篇，2区4篇（一作1篇），3区14篇（一作7篇），4区4篇。被引次数根据 Google Scholar 统计，总被引403次，h-index 11

1, Thomas R. Neil *, **Zhiyuan Shen*** (*共同一作), Daniel Robert, Bruce W. Drinkwater, and Marc W. Holderied, “Moth wings are acoustic metamaterials”, **PNAS**, (2020), (已接收, 综合性期刊1区, 影响因子9.412)

2, Thomas Neil, **Zhiyuan Shen**, Daniel Robert, Bruce Drinkwater, Marc Holderied, “Thoracic scales of moths as a stealth coating against bat biosonar”, Journal of the Royal Society Interface, 17, (2020), pp. 20190692-1-10. (综合性期刊2区, 影响因子3.748)

3, Mary-Ruth Low, Wong Zhi Hoong, **Zhiyuan Shen**, and Sheema Abdul Aziz, “Blessing or bane? ethnobiology of bats across the Asia-pacific region”, Journal of Ethnobiology, (2020), (已接收, 社会科学3区, 影响因子1.092)

4, **Zhiyuan Shen**, Thomas Neil, Daniel Robert, Bruce Drinkwater, Marc Holderied, “Biomechanics of a moth scale at bat biosonar echolocation ultrasonic frequencies”, **PNAS**, 115, (2018), pp. 12200-12205. (封面文章, 综合性期刊1区, 影响因子9.412)

5, Xingxu Zhang, Xiaobiao Shan, **Zhiyuan Shen**, Tao Xie, Jianmin Miao, “A new self-powered sensor using the radial field piezoelectric diaphragm in d33 mode for detecting the underwater disturbance”, Sensors, 19, (2019). (工程技术3区, 影响因子3.275)

6, **Zhiyuan Shen**, Kui Yao, Shuting Chen, Lei Zhang, and Chin Yaw Tan, “Direct writing piezoelectric ultrasonic transducers for non-destructive testing defects on plate aircraft parts”, IEEE Sensors Journal, 17, (2017), pp.3354-3361. (工程技术3区, 影响因子3.073, 被引18)

7, **Zhiyuan Shen**, Kui Yao, Chin Yaw Tan, Lei Zhang, Yifan Chen, “A miniaturized wireless accelerometer with micromachined piezoelectric sensing element”, Sensors & Actuators: A. Physical, 241, (2016), pp. 113-119. (工程技术3区, 影响因子2.904, 被引31)

8, Shifeng Guo, Lei Zhang, Meysam Sharifzadeh Mirshekarloo, Shuting Chen, Yi Fan Chen, Zheng Zheng Wong, **Zhiyuan Shen**, Huajun Liu, and Kui Yao, “Method and analysis for determining yielding of titanium alloy with nonlinear Rayleigh surface waves”. Materials Science & Engineering A, 669, (2016), pp. 41-47. (工程技术2区, 影响因子4.652, 被引17)

9, **Zhiyuan Shen**, Shuwei Liu, Jingyu Lu, Jianmin Miao, Lye Sun Who, Zhihong Wang, “Spiral electrode d33 mode piezoelectric diaphragm combined with proof mass as energy harvester”, Journal of Micromechanics and Microengineering, 25, (2015), pp. 035004. (工程技术3区, 影响因子1.739)

10, **Zhiyuan Shen**, Yufeng Zhou, Jianmin Miao, and Vu Kien Fong, “Enhanced visualization of fine needle under sonographic guidance using a MEMS actuator”, Sensors, 15, (2015), pp. 3107-3115. (工程技术3区, 影响因子3.275)

- 11, Shuwei Liu, **Zhiyuan Shen**, Sun Who Lye, Jianmin Miao, “Charging and characterization of non-patterned organic micro electret arrays”. Journal of Micromechanics and Microengineering, 24, (2014), pp. 085004. (工程技术 3 区, 影响因子 1.739)
- 12, **Zhiyuan Shen**, Jingyu Lu, Chee Wee Tan, Jianmin Miao, Zhihong Wang, “ d_{33} mode piezoelectric diaphragm based acoustic transducer with high sensitivity”, Sensors and Actuators A: Physical, 189, (2013), pp. 93-99. (工程技术 3 区, 影响因子 2.904, 被引 21)
- 13, Asadnia Mohsen, Ajay Giri Prakash Kottapalli, **Zhiyuan Shen**, Jianmin Miao, George Barbastathis, and Michael Triantafyllou, “Flexible and surface-mountable piezoelectric sensor arrays for underwater sensing in marine vehicles”. IEEE Sensor Journal, 13, (2013), pp. 3918-3925. (工程技术3区, 影响因子3.073, 被引77)
- 14, **Zhiyuan Shen**, Mohamad Olfatnia, Jianmin Miao, and Zhihong Wang, “Displacement and resonance behaviors of a piezoelectric diaphragm driven by a double-sided spiral electrode”, Smart Materials and Structures, 21, (2012), pp. 055001. (工程技术 2 区, 影响因子 4.652, 被引 14)
- 15, **Zhiyuan Shen**, Wei Chen, “Converse flexoelectric effect in comb electrode piezoelectric microbeam”, Physics Letters A, 376, (2012), pp. 1661-1663. (物理 3 区, 影响因子 2.278, 被引 25)
- 16, Shuwei Liu, **Zhiyuan Shen**, Sun Woh Lye, and Jianmin Miao, “Stable micro sized electret array produced by localised charging using a silicon shadow mask”, Micro & Nano Letters, IET, 7, (2012), pp. 1094-1096. (工程技术 4 区, 影响因子 0.975)
- 17, M Olfatnia, **Z Shen**, J M Miao, L S Ong, T Xu, and M Ebrahimi, “Medium damping influences on the resonant frequency and quality factor of piezoelectric circular microdiaphragm sensors”, Journal of Micromechanics and Microengineering, 21, (2011), pp. 045002. (工程技术 3 区, 影响因子 1.739, 被引 41)
- 18, Wei Dai, Hong Wang, Minjie Wang, **Zhiyuan Shen**, Dichen Li, Di Zhou, “Diamond electromagnetic band gap structure based on Bi(Nb_{0.992}V_{0.008})O₄ ceramic”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 22, (2011), pp. 422-425. (工程技术 3 区, 影响因子 1.739)
- 19, Wei Dai, Hong Wang, Di Zhou, **Zhiyuan Shen**, Yong Li, and Dichen Li, “The ultra-wide band gap property induced by lattice period gradually changing in three-dimensional photonic crystals”, Journal of the American Ceramic Society, 93[12], (2010), pp. 3980-3982. (工程技术 3 区, 影响因子 3.502, 被引 13)
- 20, Wei Dai, Hong Wang, Minjie Wang, **Zhiyuan Shen**, Dichen Li, Di Zhou, Jianzhang Shi, “Fabrication of three-dimensional electromagnetic band-gap structure with high-K dielectric ceramics by rapid-prototyping”, Journal of Electroceramics, 25, (2010), pp. 218-222. (工程技术 4 区, 影响因子 2.588)
- 21, Feng Xiang, Hong Wang, Haibo Yang, **Zhiyuan Shen**, Xi Yao, “Low loss flexible SrTiO₃/POE dielectric composites for microwave application”, Journal of Electroceramics, 24, (2010), pp. 20-24. (工程技术 4 区, 影响因子 2.588, 被引 10)
- 22, **Zhiyuan Shen**, Hong Wang, Jianzhang Shi, and Xi Yao, “Electromagnetic bandgap structure containing high-K dielectric ceramics”, Journal of the American Ceramic Society, 91[9], (2008), pp. 2892-2896. (工程技术 3 区, 影响因子 3.502)
- 23, Feng Xiang, Hong Wang, Kecheng Li, Yuehua Chen, Minghui Zhang, **Zhiyuan Shen**, and Xi Yao, “Dielectric tunability of Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃/poly (methyl methacrylate) composites in 1-3-type structure”, Applied Physics Letters, 91, (2007), pp. 192907. (物理 2 区, 影响因子 3.597, 被引 50)

24, Jianzhang Shi, Hong Wang, **Zhiyuan Shen**, Nan Wang, Xi Yao, “Preparation and Properties of embedded thick film multilayer capacitor”, Rare Metal Materials and Engineering, 36 Supplement: 1, (2007), pp. 954-956. (工程技术 4 区, 影响因子 0.485)

国际专利

1, Kui Yao, **Zhiyuan Shen**, Chin Yaw Tan, Yi Fan Chen, and Lei Zhang, “Wireless piezoelectric accelerometer and system”, WO 2015/156741 A1, 2015.

2, Kui Yao, **Zhiyuan Shen**, Shuting Chen, Lei Zhang, Chin Yaw Tan, “Direct-write acoustic transducers and method for structural health monitoring”, PCT/SG2015/050484, 2015.

会议文章与展示

1, **Zhiyuan Shen**, “Moth scales as acoustic metamaterials”, The 1st International Conference on Intelligent Equipment and Robotics, (2020), Nanjing, China

2, Marc Holderied, **Zhiyuan Shen**, Thomas Neil “Towards bioinspired acoustic metamaterials for advanced noise control solutions”, Physics Meet Biology Conference, (2019), Oxford, UK

3, Mary-Ruth Low, **Zhiyuan Shen**, Wong Zhi Hoong, and Sheema Abdul Aziz, “Understanding cultural symbolism and use of bats in southeast Asia for conservation interventions”, 18th International Bat Research Conference, (2019), Phuket, Thailand

4, **Zhiyuan Shen**, Thomas Neil, Daniel Robert, Bruce Drinkwater, Marc Holderied, “The micromechanics and bioacoustic behaviour of *Bunaea alcinoe* moth scales”, 176th Meeting of the Acoustical Society of America and 2018 Acoustics Week in Canada, (2018), Victoria, Canada.

5, Thomas Neil, **Zhiyuan Shen**, Bruce Drinkwater, Daniel Robert, Marc Holderied, “Stealthy moths avoid bats with acoustic camouflage”, 176th Meeting of the Acoustical Society of America and 2018 Acoustics Week in Canada, (2018), Victoria, Canada.

6, Ajay Giri Prakash Kottapalli, **Zhiyuan Shen**, Mohsen Asadnia, Siyu, Tian, Kai Tao, Jianmin Miao, Michael S. Triantafyllou, “Polymer MEMS sensor for flow monitoring in biomedical device applications”. MEMS 2017, (2017), Las Vegas, USA.

7, **Zhiyuan Shen**, Ajay Giri Prakash Kottapalli, Vignesh Subramaniam, Jianmin Miao, Mohsen Asadnia, Michael S. Triantafyllou, “Biomimetic flow sensors for biomedical flow sensing in intravenous tubes”, 2016 IEEE Sensors, (2016), Orlando, USA.

8, **Zhiyuan Shen**, Ajay Giri Prakash Kottapalli, Mohsen Asadnia, Jianmin Miao, and Michael Triantafyllou, “Tunable nonlinear resonance in a piezoelectric MEMS diaphragm with floating bottom electrode”. IEEE-NEMS 2016, (2016), Sendai, Japan.

9, Ajay G. P. Kottapalli, Mohsen Asadnia, **Zhiyuan Shen**, Vignesh Subramaniam, Miao Jianmin, and Michael Triantafyllou, “MEMS artificial neuromast arrays for hydrodynamic control of soft robots”. IEEE-NEMS 2016, (2016), Sendai, Japan.

10, Liangxing Hu, **Zhiyuan Shen**, Jianmin Miao, and Gerhard Grueber, “Steerable Trajectory of Gold-Nickel-Platinum Nanojets with Nozzle Nanoengines”. IEEE-NEMS 2016, (2016), Sendai, Japan.

11, Kui Yao, Shuting Chen, **Zhiyuan Shen**, Lei Zhang, and Chin Yaw Tan, “Direct-write piezoelectric ultrasonic transducers for structural health monitoring”. International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2016), (2016), Singapore.

12, **Zhiyuan Shen**, Yi Fan Chen, Lei Zhang, Chin Yaw Tan, and Kui Yao, “A Wireless Accelerometer Using Micromachined Piezoelectric Sensor”. ISAF-ISIF-PFM 2015, (2015), Singapore.

- 13, Shifeng Guo, Lei Zhang, Shuting Chen, **Zhiyuan Shen**, Meysam Sharifzadeh Mirshekarloo, Huajun Liu, Yi Fan Chen, and Kui Yao, "Evaluation of Plastic Deformation in Titanium and Aluminum Alloys with Nonlinear Rayleigh Surface Acoustic Waves". ISAF-ISIF-PFM 2015, (2015), Singapore.
- 14, Kui Yao, Chin Yaw Tan, Szu Cheng Lai, Lei Zhang, **Zhiyuan Shen**, and Yifan Chen, "Ferroelectrics for wireless sensor and transducer applications", CIMTEC 2014 - 13th International Ceramics Congress, (2014), Montecatini Terme, Italy.
- 15, **Zhiyuan Shen**, Shuwei Liu, Jianmin Miao, Lye Sun Woh and Zhihong Wang, "Proof mass effects on spiral electrode d33 mode piezoelectric diaphragm-based energy harvester", IEEE MEMS 2013, January, (2013), Taipei.
- 16, Asadnia Mohsen, Ajay Giri Prakash Kottapalli, **Zhiyuan Shen**, Jianmin Miao, Andrew Benson Randles, "Flexible, zero powered, piezoelectric MEMS pressure sensor arrays for fish-like passive underwater sensing in marine vehicles", IEEE MEMS 2013, January, (2013), Taipei.
- 17, **Zhiyuan Shen**, Shuwei Liu, Haobing Liu, Kottapalli Ajay Giri Prakash, Jianmin Miao, Lye Sun Woh, "Piezoelectric d33 mode diaphragm energy harvester for self-powered sensor application", IEEE Sensors, October, (2012), Taipei.
- 18, Jingyu Lu, **Zhiyuan Shen**, Jianmin Miao, Ajay G. P. Kottapalli, Xianglin Li, Hongjin Fan, "Light detection by carbon nanotube circuit with strong intertube conduction", IEEE Sensors, October, (2012), Taipei.
- 19, Ajay Giri Prakash Kottapalli, Mohsen Asadnia, **Zhiyuan Shen**, Jianmin Miao, George Barbastathis, Michael Triantafyllou, "Micromachined piezoelectric sensor array for passive fish-like underwater sensing", IEEE Sensors, October, (2012), Taipei.
- 20, **Zhiyuan Shen**, Hong Wang, Jianzhang Shi, "Electromagnetic bandgap structure containing high-K dielectric ceramics", Chinese Physical Society 2007 Fall Meeting, Sep, (2007), Nanjing, China.
- 21, Jianzhang Shi, Hong Wang, **Zhiyuan Shen**, "Preparation and properties of embedded thick film multilayer capacitor", The 14th National Conference on High-Tech Ceramics, Nov., (2006), Luoyang, China.

创新性研究成果

我的研究兴趣和专长集中在 MEMS 传感器与执行器，压电材料与器件，声学超材料，超声无损检测，仿生设计等领域。

在新加坡南洋理工大学攻读博士和在新加坡工作的 4 年期间，我的研究方向是基于压电材料的微型传感器及其应用。我所研究的器件包括声学传感器，能量采集器，无线加速度计，压力传感器与流速传感器等。这些传感器被应用于无损检测，水下机器人，医疗器械等领域中。通过这些器件的研发，我积累了对微传感器进行理论设计与数值仿真，在超净间内进行材料生长，微系统制备，对材料与微系统进行形貌表征与机电性能测试的系统经验，为进一步进行 MEMS 器件的研发打下了坚实基础。

我的另一个研究方向是超材料。在硕士期间，我研究了陶瓷/塑料三维有序复合材料作为一种电磁带隙超材料。这个研究结合我的微加工研究经历，使我进入英国布里斯托大学生物学院，参与到一项新兴跨学科领域——昆虫的鳞翅声学研究中。目前这项研究已经证实，蛾子鳞翅是一种超薄宽频吸声材料，鳞片阵列采用了类似人工声学超材料的设计原理产生其宽频吸波效应。该研究开辟了仿生声学超材料的新研究方向。

我的发表记录包括 24 篇国际期刊论文，2 篇美国专利，21 次国际会议文章与报告。其中高影响因子期刊包括两篇第一作者的 PNAS, 和一系列第一作者的 MEMS 领域主流期刊如 Sensors & Actuators: A. Physical, Journal of Micromechanics and Microengineering, 和 Applied Physics Letters 等。重要的会议论文包括 176th Meeting of the Acoustical Society of America, MEMS 2017, IEEE MEMS 2013, IEEE Sensors 等。

在学习与工作中，我积极地培养了申请与管理研究项目的能力。2014 年，我作为项目副负责人（Co-PI）成功申请了项目《用于飞机部件屈服检测的超声无损检测器件与方法》。该项目由新加坡科技发展局和法国航空公司赛峰集团（SAFRAN）共同出资（基金名称：A*STAR Aerospace Programme Cycle 7，经费为 28.2 万新币，合 137.34 万人民币）。我作为撰稿人撰写了项目申请书，成功邀请到了声学公司 Acoustical Technologies Singapore Pte Ltd 作为工业合作伙伴加入到项目。在项目实施中，我的工作包括设计实验计划并率领五人国际团队按时实现了超声器件原型和无损检测方法。另外，我负责撰写申请的另外两个项目计划也获得了新加坡政府的资助，它们是《用于检测中空航空部件内部腐蚀和剩余壁厚的无损检测技术》（基金名称：A*STAR Aerospace Programme Cycle 8，2015-2016）以及《用于降噪的智能绿色压电材料与器件》（新加坡国家发展局研究基金, 2013-2015）。还有一些我作为申请人的项目也进入了最后评审短名单阶段。

以下是我参与的系列科研项目及成果：

2016年7月至今，《生物科学中的衍射——昆虫声学伪装与隐身机理》（英国工程与自然科学研究理事会 EPSRC 与应用生物学和生物科学研究理事会 BBSRC 联合资助项目）。该项目致力于用微观力学方法研究鳞翅目昆虫（蛾子与蝴蝶）的声学伪装与隐身效应。我作为项目组中数值仿真和微加工方面的技术负责人，主要工作有：表征了蛾子鳞片的三维微结构，数值建模仿真了鳞片的等效力学参数，实验验证了单个鳞片的振动行为。我设计的实验证明，蛾子鳞片的三个主要振动模态都位于蝙蝠的超声探测频段内（20kHz-180kHz），蛾子鳞片利用其振动行为实现了在相应频段的超声吸收峰。我们的研究进一步证实了蛾子鳞翅是一种超薄宽频吸声材料。我通过实验表征了不同种蝴蝶和蛾子鳞片的振动模态统计分布，证实了蛾子鳞片的谐振频率平均分布在蝙蝠超声探测范围内，而蝴蝶鳞片的谐振频率分布集中在较窄的频段，进而证实了蛾子鳞片通过形态多样性达成其宽频吸收效果。该研究首次将微观力学的实验和数值分析手段引入鳞翅目昆虫的鳞片微结构研究，阐释了鳞翅的宽频吸声机理，开创了仿生声学超材料的新研究方向。该项目的研究进展已经连续两篇被国际权威综合性期刊 PNAS 杂志接收，其中第一篇获选为封面文章，研究获得 BBC, Science, PBS NOVA 等三十余家国际媒体的广泛报道。目前，我正在进一步利用微加工技术进行人造鳞片声学材料的制备，该研究有望设计出新型的超薄的宽频吸声材料。除了以上实验和微加工工作，我目前也在与帝国理工大学的数学家进行理论层面上的研究，从数学和声学理论两个方面进一步研究蛾子的声学隐身机制。

2015年—2016年，《用于流速测量的仿生传感器》，新加坡-麻省理工学院学术联盟创新基金项目。该项目研究了鱼侧线中纤毛传感器的流速传感原理，利用 MEMS 技术通过压电电压传感原理，设计实现了高灵敏度的仿生流速传感器。我优化并制备了仿生流速传感器，将这类传感器集成于水下机器人与无人驾驶水下航行器上，帮助这些机器人更好地感知周围环境并获得更高机动性。此外，我也将这类传感器集成于医疗器械如输液管与呼吸器中，改善了这些医疗器件的流速测量精度。该传感器能够测量的流速低至 1 毫升/小时（管径 2.8mm），代表了当时流速测量传感器的最高灵敏度。

2012年—2015年，《直写超声换能器》，项目由巴西航空公司Embraer资助。我设计了能有效收发金属板中特定模态导波兰姆波的梳状电极超声换能器，利用喷墨打印技术在金属部件表面直接集成了图案化的压电塑料薄膜和金属电极，实现了与航空板材集成的超声传感器网络。另外，我在项目中设计了一种新的算法，该算法能利用传感器网获得的缺陷散射信号定位金属板材中的缺陷与估计缺陷严重程度。该项目进一步发展为项目《用于飞机部件屈服检测的超声无损检测器件与方法》。作为项目副负责人，我带领研究团队进一步优化了直写超声换能器的电极设计，利用该换能器产生并接收兰姆波，成功利用兰姆波在金属板中的非线性传播产生的二次谐波检测到金属板材中屈服的发生和程度。

2012年—2013年，《用于机械振动检测的无线压电加速度计》，项目由新加坡Hoestar公司资助。项目为该公司研发了用于机械振动检测的无线加速度计原型，该加速度计基于压电薄膜MEMS技术，我在其中负责加速度传感器的制备与测量，也负责无线加速度计的封装，实现了同一封装结构中传感器，信号处理，无线收发模块，电池的系统集成。该设计所实现的原型在尺寸，重量上优于市场上的无线加速度计产品。

2008 年—2012 年，《压电 MEMS 声学传感器与能量采集器的实验研究》，我在博士学习期间设计优化了一种具有双面螺旋电极的压电圆片振子。该振子工作于 d_{33} 模态，比起传统的工作于 d_{31} 模态的压电三明治结构有更高的灵敏度。我系统表征了这种压电振子的振动行为与声波收发特性，证实了 d_{33} 模态传感器比传统 d_{31} 传感器有 20 倍的灵敏度提高。我还理论分析了圆板—圆板组合结构的振动行为，利用加载另一质量圆片将 d_{33} 模态圆片振子的谐振降低到 1kHz 的低振动频率，验证了将 d_{33} 模态圆片振子作为振动能量采集器的性能。

2005 年—2008 年，《多带隙可调电磁带隙结构的制备与机理研究》，国家自然科学基金项目。这个课题是我硕士研究生阶段的主要研究课题。课题利用三维打印制备了具有复杂二、三维周期性结构的陶瓷/塑料复合材料，首次将微波高介电常数材料铌酸铍引入电磁带隙结构的设计。我数值分析了电磁超材料的带隙结构，并实验观测到了由于引入高介电常数材料引起的超宽电磁带隙。

综上，我在学习与工作中积累了微加工、声学材料与器件、仿生设计方面的系统知识与实践经验，实现了一系列有工业应用价值的微器件，也揭示了自然界中昆虫声学效应的微观力学机理。这些为我进一步进行仿生微系统的研究打下了坚实基础。

研究计划

我致力于在上海交通大学建立一所交叉学科新型实验室。该实验室致力于原创性的仿生微系统与材料领域的研究。该实验室将研究昆虫及其他生物中存在的传感，运动机构和微结构，结合微加工技术研制仿生器件与材料。这些研究一方面能让我们更深刻地认识自然，推进人类对于生物生理、行为的认识，更重要的是，这些知识能产生新型的材料与器件，将为机器人、物联网、医疗器械领域的技术革新提供支持。

以上研究方向与交大现有的微系统研究方向将实现协同互补。一方面，微电子学院拥有一流的超净间实验平台，交大相关院系拥有生物影像学、功能材料、先进制造，机器人等方面的先进研究设备，这些为仿生微系统的研究提供了坚实的实验基础。另一方面，我将与微电子学院现有团队形成优势互补的协作，与现有的微纳力学传感器，微小型机器人，微流体，生物医学传感等研究进行整合。我将进一步加强微电子学院在压电材料、声学器件、无损检测、超材料、仿生领域的研究实力。

基于我个人的国际化教育和工作背景，我与诸多国际著名机构的专家确立了良好的合作关系，这些机构包括英国的布里斯托大学，帝国理工学院，美国的麻省理工学院，荷兰格罗宁根大学，新加坡南洋理工大学，新加坡科技发展局，沙特阿拉伯阿卜杜拉国王大学，西安交通大学，哈尔滨工业大学等。我也与之前合作过的航空企业如法国赛峰SAFRAN，巴西航空工业公司Embraer保持联系，我将努力推动上海交大与上述高校企业间进行合作创新。

具体而言，我计划在交大进行如下课题研究：

仿生微型化自动机器人

近年来，微型化的空中与水下机器人获得了研究人员的极大关注。这些机器人在环境检测、救灾、国防等领域表现出巨大的应用前景。当飞行器与水下机器人的尺寸小到厘米与毫米量级，传统的刚体机身设计，喷气或螺旋桨推进的运动模式变得不那么有效，研究发现鸟类，昆虫，鱼类的拍翅飞行与摆尾游动设计在这个尺度表现出更大优点。工程实践上，压电材料等机电耦合材料与微加工技术相结合制作的拍翅与摆尾运动机构，是仿生微型化空中或水下机器人的关键运动部件。我将进一步优化压电材料与运动机构的设计，实现功耗，控制性能优于现有执行器的压电基拍翅与摆尾机构，使仿生空中或水下机器人获得更大的运动能力。

声信号与流速信号被很多动物用来进行信息交换，实现导航与集群运动。现有的微小型空中或水下自动机器人通常只依靠视觉信号获得环境与姿态信息实现自动控制。基于声音与流速信号反馈的机器人自动控制能有效地在视觉信号受限的环境中（如黑夜，浑浊水域，透明障碍物）对机器人进行自动控制。即使在视觉信号能工作的环境中，声音与流速信号也有信号处理数据小等优点，可以与视觉信号进行多信号融合，增强机器人的控制性能。我将进一步优化我所研发的压力、声学、流速传感器，将它们集成在微小型的自动空中或水下机器人上，使得这些机器人获得更为自主的控制与机动性。

仿生设计将在我的器件研究过程中起指导作用。在布里斯托大学的研究经历，使我系统学习了蝙蝠与昆虫的声学对抗策略以及动物发声和听觉系统原理。数百万年的种间生存斗争使得不同的蝙蝠与昆虫进化出了形态、功能各异的超声发射、感测、防护手段，这些为仿生声学收发器件的研究提供了丰富的设计原型。加入交大后，我将进一步学习蝙蝠和被捕食昆虫的声学对抗策略，研究蝙蝠如何利用超声信号进行导航、探测、防碰撞、集群飞行等。我也将进一步通过文献综述理解昆虫的发声器官形态，声学传感器、流体传感器在昆虫体侧的分布，以及昆虫的神经系统如何处理获得的信号等，从中总结出可供微小型机器人借鉴的传感器应用原理。

我在博士期间研发的d33模态压电圆片声学传感器，也可以被用在机器人上。屈曲效应是很多昆虫采取的使其发声膜发出响亮声音的物理效应。我将进一步研究d33模态压电圆片的非线性屈曲动力学和由屈曲条件下的声波收发效率，利用这些效应研发具有更高机电转换效率的压电声学器件。

在SMART工作期间，我在麻省理工学院Michael Triantafyllou 教授的指导下研发了仿生鱼侧线纤毛传感器的微流速传感器。该传感器能够对极低速度的水流（1ml/h，管径2.8mm）进行感测。我们已成功地将流速传感器阵列集成在仿生鱼软体机器人上，增强了仿鱼机器人的感知周边环境的能力和机动性。未来我将进一步优化该传感器，将传感器与微型水下机器人集成，实现机器人的更有效的反馈控制。

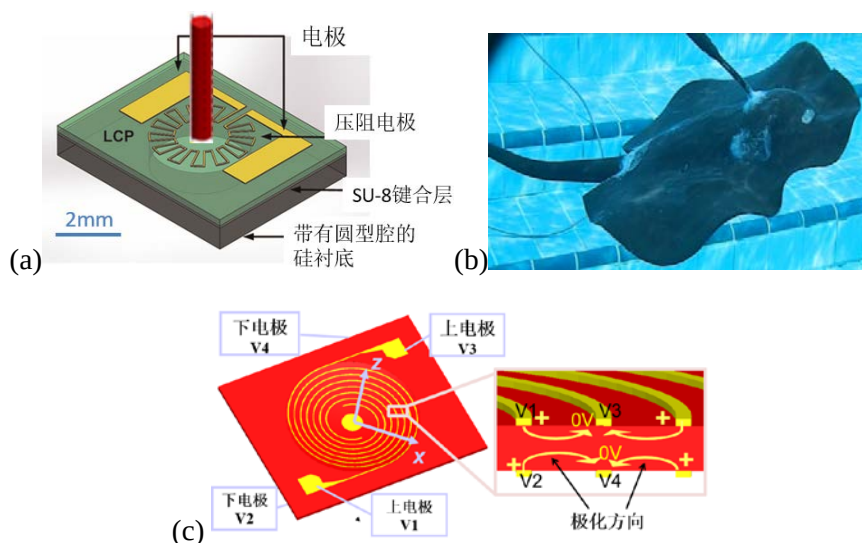


图1, (a) 仿鱼侧线纤毛细胞的压阻流体传感器示意图; (b) 装配有MEMS流体传感器的软体仿鱼机器人; (c) d33模态的压电圆片传感器

仿生声学超材料

该研究方向是基于我在布里斯托大学关于蛾子鳞翅的声学超材料的研究。蝙蝠利用超声对环境与猎物进行定位，蛾子是蝙蝠的主要捕食对象，不同蛾子进化出不同的对抗蝙蝠超声探测的策略。对那些没有听力与毒性的蛾子，生物学家认为它们覆盖着鳞片的翅膀是其实现超声隐身功能的材料，但是人们对于鳞翅的微观结构如何达成声学隐身机理知之甚少。作为主要研

究员，我进行了若干种蛾子与蝴蝶鳞片的三维微/纳结构的成像。基于这些三维影像构建了鳞片的微结构模型，数值与实验分析了单个鳞片的振动行为，分析测量了鳞翅的超声传输反射吸收特性。这些工作证实了蛾子鳞翅是一种有效的超薄超声吸收材料（鳞翅厚度/波长=1/111-1/5）。鳞片的前三个谐振都位于蝙蝠的超声探测频段内，每个谐振会产生与之相应的超声吸收峰。蛾子鳞片的形态分布使得鳞片谐振在蝙蝠探测频段内均匀分布，因而产生了宽频的声学吸收特征；而蝴蝶鳞片的形态较均一，吸收峰集中于特定频率。这种由作用于不同谐振频率的振子阵列构成宽频吸声材料的设计思路，与近年发展起来的声学超材料吸声材料的工作原理不谋而合，证实了蛾子的鳞翅是一种声学超材料，打破了声学超材料只在工程实践中存在的传统认识。

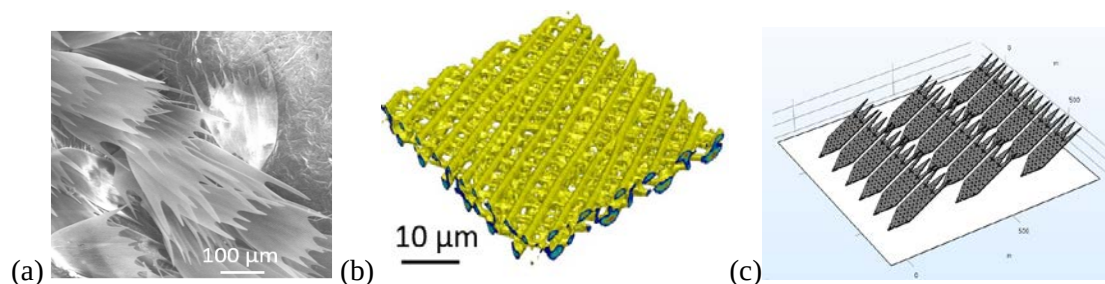


图2, (a) *Bupalus pexanus* 蛾子鳞片的扫描电镜图片; (b) 鳞片多孔结构的三维图片; (c) 人造鳞片阵列示意图

另外我利用微加工技术制备了人造鳞片阵列，并测试了该材料的声学传输反射吸收特性。该材料有超薄、超轻、宽频等特性，将能用于噪声防护。在下一步工作中，我将进一步研究蛾子鳞翅的微观结构，解析鳞片的声学吸收机制，优化人造仿生鳞片吸声材料的设计。我计划进一步研究鳞翅的多尺度结构化和动态隐身效应，为实现新功能的仿生超材料奠定基础。蛾子鳞片同时具有飞行动力学、光学、浸润、防散热等方面的特性，这些特性是与鳞片的纳孔结构和三维曲面造型相关的，我将利用微加工技术制备具有鳞片特征的三维鳞片阵列，优化其材料、几何结构设计，利用压电材料等引入调谐机制，使得人造鳞片材料具备频带可调谐的声学特性。我将进一步集成微声学传感器在人造鳞片材料上，所实现的智能材料将能够检测周围环境的噪声变化，自适应地根据周边环境的噪声变化对吸收曲线做出调整。

声控微流体器件

许多生化诊断与环境监测都需要对微流体和微颗粒进行操作。声控流体器件利用声波驱动微流体运动进而对流体和流体中的颗粒进行操纵，能实现流体与颗粒的捕获、输运、旋转、悬浮、混合、雾化等操作。将声控流体技术与MEMS技术相结合能够产生出声控微流体器件，这些器件将在生化处理，污染物检测等方面发挥重要作用。

目前用于流体控制的声波波型主要是表面波和体声波。我在之前的超声无损检测研究中系统地研究了板状结构中的导波兰姆波的发射和接收，制备了集成在板材上的收发兰姆波的用

于无损检测的超声传感器阵列。相对于表面波与体声波，兰姆波的优势表现为：第一，兰姆波能够在非压电介质中传播，而表面波只能在压电材料表面传播，采用兰姆波将能极大地拓展水声器件衬底材料的选择。价格便宜的玻璃，塑料等材料都能够用于兰姆波器件的设计。其二，某些兰姆波模态有比起声表面波有更高的机电耦合效率，这意味着基于兰姆波的水声器件有比声表面波器件更高的效率。目前，兰姆波与微流体的互作用关系还没有被很好研究。加入交大后，我将进一步研究板状结构中的导波，表征兰姆波与流体的相互作用，进一步研制水声微流体器件原型，实现比现有声表面波器件更高效的能完整进行流体泵浦、输运、混合、悬浮等功能的单片水声微系统。

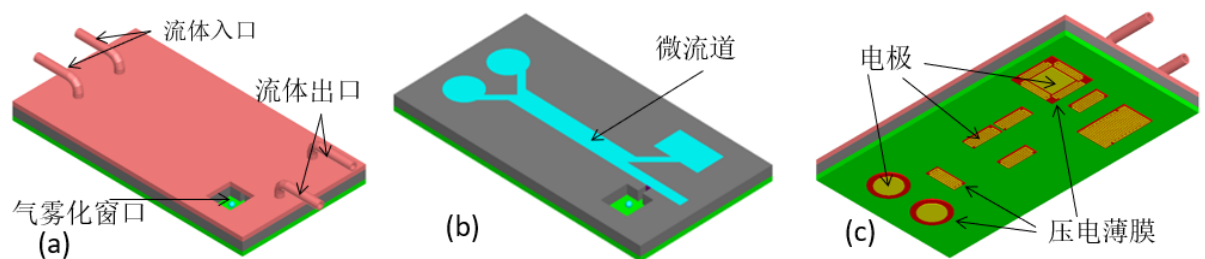


图 3. 水声器件示意图，(a)上表面图; (b)微流道; (c) 背侧压电器件

国际评估专家简介

1, Marc Holderied 教授

School of Biological Sciences, University of Bristol

地址: Office 2B05, Life Sciences Building, 24 Tyndall Avenue, Bristol, BS8 1TQ

School of Biological Sciences, University of Bristol

电话: +44 (0) 117 39 41190

E-mail: marc.holderied@bristol.ac.uk

简介: Marc Holderied 副教授是我在布里斯托大学的导师。Marc Holderied 副教授的主要研究兴趣为蝙蝠与昆虫的声学行为, 生物声学传感等。

2, Bruce Drinkwater 教授

Professor of Ultrasonics

School of Engineering, University of Bristol

地址: Office 2.47, Queen's Building, University Walk, Bristol, BS8 1TR

电话: +44 (0) 117 331 5914

E-mail: b.drinkwater@bristol.ac.uk

简介: Bruce Drinkwater 教授是布里斯托大学超声技术实验室的负责人, 是我在布里斯托大学副导师。Bruce Drinkwater 教授是超声无损检测与超声图像信号处理领域的国际权威。他是超声悬浮微颗粒技术先驱。获得过多项英国与国际超声领域奖项。

3, Michael S. Triantafyllou 教授

William I. Koch Professor of Marine Technology

Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology

地址: Room 5-226, MIT, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge MA 02139-4307

Tel: +617-253-4335

Email: mistetri@mit.edu

简介: Michael S. Triantafyllou 教授是麻省理工学院海洋工程中心主任, 是我在 SMART 期间的导师。他是流体力学与水下机器人领域的国际权威。在国际上率先研究了鱼运用湍流辅助运动的流体力学原理, 是仿生鱼机器人领域的先驱。

4, 姚奎博士

Principal Scientist/Programme Manager

Design & Growth Department

地址: Institute of Materials Research and Engineering

2 Fusionopolis Way, Innovis, #08-03, Singapore 138634

电话: +65-64168936

Email: k-yao@imre.a-star.edu.sg

简介: 姚奎博士是新加坡材料科学研究院传感器与执行器部门的负责人。他是我在材料研究院时的领导。姚奎博士的研究兴趣是压电材料与传感器, 超声无损检测等。