

分会场十二：微纳仿生制造

主 席：陈华伟（北京航空航天大学）、王钻开（香港城市大学）

特邀报告 1：微纳米级昆虫仿生飞行系统的革新：机遇与挑战

Insect-inspired innovation for micro-and nano-flight systems: opportunities and challenges



刘浩 (Liu Hao), Hao LIU is Professor of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Chiba University, Japan, and visiting chair professor & director of Shanghai Jiao Tong University & Chiba University International Cooperative Research Center. He received his BS degree from Dalian University of Technology, China, and M.S.E. and Ph.D. degrees from Yokohama National University. Prior to joining Chiba University, he was a senior research scientist in RIKEN. He is the author and a co-author of more than 600 papers in journals and conferences, mainly dealing with computational mechanics related to flying and swimming, biological fluid dynamics, fluid-structure interaction, bio-aeroacoustics, biomechanics in insect & bird flights, fish swimming biomechanics, biomimetics, insect-inspired flight systems for micro air vehicles and drones, and bio-inspired engineering as well as biomedical engineering.

报告摘要：

Flying insects and birds are capable of actively powering and controlling flights by flapping wings to perform excellent flight stability and maneuverability. In this talk, I will overview and highlight recent advances in insect-inspired flight systems associated with flexible wing aerodynamics, flexible wing-hinge dynamics as well as body flexibility-induced dynamic flight stabilization and flight control in insects under various turbulent environments. A perspective will be also given on opportunities and challenges in insect-inspired innovation for micro-and nano-flight systems and biomimetics in flapping MAVs and drones.

特邀报告 2：从形似到神似：仿生感知研究



韩志武，教授，博士生导师，国家杰出青年科学基金获得者，教育部“长江学者奖励计划”特聘教授，中组部“万人计划”领军人才，科技部重点领域创新团队负责人，现任吉林大学工程仿生教育部重点实验室主任、工程仿生国家地方联合工程实验室主任。

主要从事机械仿生学、仿生感知理论与技术、功能表面仿生与新型仿生复合材料方面的研究。主持或承担国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重点、面上、863 计划、973 前期专项、国防预研、军工 863、军委科技委主题项目等国家和部省级项目 40 余项。获国家技术发明二等奖等国家和部省级奖 5 项，国际学术奖 2 项。在 *Nature*、*Advanced Materials* 等国内外刊物上发表学术论文 140 余篇，其中 SCI 收录 100 余篇。担任国际仿生工程学会（ISBE）中国国家代表、ISBE Fellow、中国农业机械学会常务理事、地面机器系统分会副主任委员兼秘书长、材料与制造分会副主任委员、中国农业工程学会理事、中国机械工程学会生物制造分会常务理事等。担任国家自然科学基金工程与材料学部会评专家，国家科技奖励评审专家，军委科技委创新特区生物及交叉科学技术领域先进仿生系统主题首席科学家。

报告摘要：

机械量传感器是一类能够将机械量信号（声音、压力、振动、流速等）按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出的传感器。由于制造和监测对象运行的过程是一个机械量信号不断产生的过程，而机械量信号中又包含运行设备和生命体的众多运行参数，因此，机械量传感器是中国制造整个链条上应用最为广泛的一类传感器，它是提高中国制造智能化水平的重要保障。

自然界中的许多典型动物，为了满足残酷环境下的生存需求，体表已经进化出了性能优异的机械量感受器。生物体表的机械量感受器完美地综合了高灵敏、高精度、高稳定、低功耗、微尺度等优异综合性能。而上述优异性能恰恰也是面向智能制造所需的新一代机械量传感器所迫切需求的。因此，开展基于典型生物体表机械量感受器的仿生研究，为解决目前机械量传感器所面临的众多挑战提供了全新的途径，可为航空航天、微纳制造、机器人、人工智能、生物医学工程等高新技术领域装备所需的新型机械量传感器的设计与制造提供新的理论支撑。

蝎子是自然界中运用超灵敏机械量感受器适应残酷自然环境的典型生物代表之一，虽然其视觉系统高度退化，但具有极强的生存能力。它凭借运动足的微振动感受器，能够在夜间对活动昆虫产生的微弱振动信号进行精准地感知、定位、识别。因此，蝎子体

表微振动感受器优异感知功能背后的内在机理，将为仿生机械量传感器的研发提供新的原理。

本报告首先对蝎子体表微振动感受器缝感知单元的超敏感知机理以及缝感知单元结构安全性与感知功能优异性兼顾机制进行介绍，并进一步对受缝感知单元形变启发以及受缝感知单元功能机理启发的机械量传感元件的仿生设计制造研究进行汇报。

特邀报告 3: 基于超亲水界面的仿生制造及其应用



史铁林, 男, 1964 年 1 月出生, 中共党员, 博士, 教授, 博士生导师, 教育部长江学者特聘教授, 教育部“微纳制造与纳米测量技术”创新团队负责人。1985 年本科、1988 年硕士毕业于西安交通大学, 1991 年博士毕业于华中理工大学, 1993 年博士后出站, 进入华中科技大学(原华中理工上大学)工作。现任中国振动工程学会常务理事、中国振动工程学会动态信号分析专业委员会理事长, 中国微米纳米技术学会理事。先后获教育部自然科学一等奖, 国家教委科技进步二等奖(应用类), 国家教委科技进步一等奖(理论类), 机械工业部科技进步一等奖, 国家科技进步三等奖, 中国青年科技奖, 全国优秀博士后、湖北省五四青年奖章、中国机械工程学会杰出青年科技奖、首批“新世纪百千万人才工程”国家级人选等荣誉称号。发表学术论文 200 余篇, 其中 SCI 论文 150 多篇。

报告摘要:

水汽自发收集技术不仅有望缓解干旱地区的缺水问题, 也可用于提高军事野外生存能力, 具有重要意义。虽然干旱地区尤其是沙漠地区降水量极其稀少, 但雾汽中的水资源却非常丰富。因此, 如何高效地空气取水是解决该问题的关键。沙漠中的生物经过亿万年自然选择, 进化出具有非常优异水汽收集特性的微纳复合结构, 例如甲壳虫、仙人掌、阔齿虎等能从雾汽中收集微水滴, 从而为水汽自发收集技术的研究与应用提供了新思路。基于仿生思想, 本工作借鉴自然界叶脉的多级分形结构特性设计了一种仿叶脉多级楔形微纳复合结构, 构建亲水捕获区域与超亲水自发定向运输流道, 实现了高效水汽捕获与定向收集。采用微尺度加工和纳尺度生长相结合, 实现了基于 PET 柔性基底仿叶脉水汽收集结构 (100 cm²), 相对无仿叶脉表面效率提升了 1150 %。该柔性结构在弯折半径 3 mm 条件下经受了 10 万次弯折测试, 效率仍旧保持 90% 以上。其中, 所制备的超亲水自发定向运输流道由草状氢氧化铜纳米线构成, 该材料具有优异的亲水性能。基于此性质探索了其在湿度传感的应用, 开发了超快自组装工艺, 并实现了基于石英晶体微天平 (QCM) 的超高灵敏湿度传感器, 成功应用于呼吸检测和非接触式临近场感知等方面。本工作为仿生结构设计、超快自组装微纳工艺、水汽的高效定向收集和湿度传感检测等应用领域提供了新思路。

特邀报告 4: 生物材料的强韧化机制研究



冯西桥，现任清华大学工程力学系主任、生物力学研究所所长、长江学者特聘教授。兼任北京国际力学中心秘书长、国家断裂学会执行委员、《Engineering Fracture Mechanics》主编等职务。其主要研究领域在生物力学、损伤与断裂力学，已发表专著 2 部，SCI 论文 260 余篇。曾获中国青年科技奖、国家杰出青年科学基金、全国优秀博士学位论文奖、全国优秀博士学位论文指导教师奖、教育部中国高校自然科学奖一等奖 3 项等奖励。

报告摘要:

经过长期演化和优胜劣汰，大自然造就了很多结构精美、性能优异的生物材料。报告人将介绍其研究组在生物材料的表界面力学、断裂力学方面所取得的粗浅结果。首先，基于多级结构的定量化表征，讨论生物材料表面的多级结构与生物功能之间的联系，为仿生表面制备提供线索；其二，以蚕丝、蜘蛛丝、珍珠母等为例，通过理论和实验研究，阐释生物材料强韧化的一些基本特点。

特邀报告 5: 微纳仿生传感技术



刘俊，教授，博导，中北大学仪器与电子学院院长。主要从事微纳机电系统、微惯性技术、传感与动态测试技术等方面研究，主持国家“973”、“863”、军委科技委基础加强计划、国家自然科学基金重大仪器专项/重点项目，创新探索等项目 50 余项，获国家技术发明二等奖 2 项，省部级奖 12 项；发表学术论文 300 余篇，其中 SCI 收录 150 余篇，被引用超过 1000 次；申请国家发明专利 100 余项，已授权 50 余项。

国家杰出青年基金获得者，国家万人计划入选者，科技部中青年创新领军人才，国家百千万工程人才，全国五一劳动奖章获得者，享受国务院特殊津贴专家。国家自然科学基金委创新研究群体、全国高校黄大年式教师团队、教育部长江学者创新团队、全国教育系统先进集体和全国专业技术人员先进集体带头人。

报告摘要:

本报告将重点针对仿生偏振光传感、仿生地磁传感及仿生声学传感技术进行介绍。微纳仿生传感技术具有微型化、高精度、高稳定性、智能化、抗干扰、低成本等优点，将在航空航天、武器装备、深海深空探测、极端恶劣环境探索等领域得到广泛应用，对我国国防军事、军民融合的发展具有重要意义。

特邀报告 6: 仿生跨尺度光功能结构与器件封装



汤勇，华南理工大学机械与汽车工学院教授，广东省特支计划杰出人才，丁颖科技奖获得者。研究方向：表面功能结构先进制造。以第一完成人获国家科技进步奖二等奖 1 项、广东省科技进步一等奖 2 项、中国专利优秀奖 2 项；研究成果在国内外专业刊物上发表论文 130 余篇，4 篇被美国《基本科学指标》(ESI) 高被引数据库收录，其中 1 篇被评为 2010 年“中国百篇最具影响国际学术论文”。

报告摘要:

针对蛾眼、苕麻叶、翅蝶及白金龟等表面跨尺度结构，详细介绍了相应仿生结构的制造方法，结合理论模型与实验研究其在半导体发光器件 (LED) 的光功能作用机理，提升 LED 出光效率与光谱精度。最后结合生产实际，列举典型的应用案例进行说明。

特邀报告 7: 壁虎的运动仿生: 从生物研究到工程应用



戴振东, 国际仿生工程学会 fellow, 南京航空航天大学教授, 江苏省仿生功能材料重点实验室主任, 仿生结构与材料防护研究所所长。现从事专业: 运动与结构仿生, 摩擦学。他分别在 83,86 和 99 年在南航机电学院获得学士, 硕士和博士学位。98-99 在中科院兰州化物所固体润滑国家重点实验室, 知识创新工程特聘访问学者; 2000-2001 在德国马普学会发育生物研究所, 客座科学家, 博士后; 2019 在美国加州伯克利大学生命科学学院访问学者。

主要学术贡献: 1) 壁虎运动仿生。2) 摩擦体系热力学。3) 多维力传感器设计技术及应用。他在壁虎运动及黏附机制方面的研究获得 2018 年教育部自然科学二等奖(No.1), 在运动力学及测试方法方面的研究获得 2012 年教育部技术发明二等奖(No.1), 2017 获得国务院政府津贴。国家 NSFC, 军委科技委, 科工局等多个评审组成员。担任美国、英国、瑞典等多个国家的项目评审专家。担任人工智能、脑机融合、仿生等十多个专业学会的常务理事或者理事。出版专著 6 部, 发表论文 300 多篇, 引用 2000 多次。

报告摘要:

壁虎具有在各种表面(包括任何斜面、甚至天花板、各种材质和粗糙度)上卓越的运动能力, 对壁虎的研究可追溯到公元前亚里斯多德时代, 而对壁虎黏附机制的新认识, 掀起了壁虎研究的高潮。本报告回顾壁虎黏附运动的结构、机构和驱动研究结果, 展示黏附的接触/摩擦电效应, 发现壁虎脚趾高可靠 Y 型黏附锁合结构及外翻脱附行为。基于对黏附结构和黏附机制的研究, 发展了系列黏附材料的制备技术, 研制匍匐运动的仿壁虎机器人机构和双向驱动的仿壁虎脚趾结构。研制了仿壁虎黏附装置, 在模拟微助力环境下实现了空间碎片的捕获。

特邀报告 8: 仿生拓扑机械系统



王钻开，教授，香港城市大学工程学院副院长（国际交流），香港青年科学院青年院士，国际仿生学会 Fellow，长江讲座教授。

研究方向为仿生机械和软物质。首次开发了具有弹簧效应的超浸润材料，发现液滴饼状弹跳现象，打破了常规材料固液接触时间的传统物理极限，并从机理上揭示了固-液动态接触时间的终极极限这一核心问题；提出了拓扑流体二极管的概念，开发了一系列无源流体自驱动器件。已在 *Nature Physics* (2 篇), *Nature Materials*, *Nature Communications* (4 篇), *Science*, *Science Advances* (2 篇), *National Science Review* (2 篇), *Physical Review Letters* (2 篇) 等综合杂志上发表多篇论文。发表在 *Small* (2008, 引用 350 次) 和 *Advanced Functional Material* (2011, 引用 300 次) 上关于微纳相变传热的两篇文章引起了高度的关注，已成为机械微观传递领域的重要经典论文。他的科研成果被 *Nature News*, *Nature Physics News & Views*, *New York Times* 等多次作为专题报道，并入选吉尼斯世界纪录。获得国际文化理事会青年特别嘉奖，香港城市大学杰出研究奖，国际仿生学会杰出青年奖。培养的博士生荣获 *Materials Research Society* 研究生金奖和银奖（目前香港地区唯一的金奖和银奖）以及入选国家青年千人计划。

报告摘要:

数十亿年的进化赋予了生物世界精湛的功能。从大自然中学习不仅满足了我们理解世界的天生好奇心，而且还提供了推动技术范式转变的重要见解。从历史上看，人类文明的许多飞跃都是从大自然中汲取线索，从飞机的发明到新干线列车，以及从珍珠层启发的超强材料到医疗机器人的发展。这些美妙绝伦的大自然现象中都隐藏着一个共同的秘诀：通过进化和调控表界面的拓扑结构来达到用最少的材料来实现最好的能量效率。

本报告将集中探讨如何利用仿生工程与其它尖端技术尤其是微/纳技术的融合，来设计和制作各种新型的材料，器件和装备。尤其，我们将阐明如何调控传统机械设计中通常忽略的拓扑效应，从根本上改变固/液界面，扩展传统工程的界限，并促进各种工程创新，比如热管理，水收集和运输，发电，可切换附着力，防污，减阻和软体运动。以便在恶劣环境中操纵定向质量，动量和能量传输，用于广泛的应用，如热管理，防冰，油/水分离，抗菌和可逆粘合。

特邀报告 9: 基于微生物的微纳米机器人技术



蔡军，北京航空航天大学机械学院，教授，博士，研究员，全国百篇优秀博士论文获得者、新世纪优秀人才、国家自然科学基金优秀青年基金获得者。主要从事基于微生物的微纳米制造技术研究，在仿生微纳生物制造技术领域主持国家自然科学基金（4项）、863重点项目、总装共用技术项目等项目十余项。发表学术论文 80 余篇，被 SCIE 收录 50 余篇，获中、美发明专利 10 余项。社会兼职包括中国机械工程学会高级会员、国际仿生工程学会高级会员、美国机械工程师协会会员等。担任十余个国际学术期刊审稿人。

报告摘要:

在自然界中很多微生物都能通过多种方式灵活地游动，这为微/纳米机器人的仿生设计和制造提供了仿生模型；近几年微生物在纳米机器人中的应用取得了重大进展。本报告将介绍各种基于微生物模板的微型/纳米机器人，并着重介绍本课题组在该领域的最新进展，包括磁性微螺旋机器人、轮状机器人，以及其在靶向药物输送方面的应用。