

## 分会场十：微纳米力学与表征技术

主 席：王卫东（西安电子科技大学）、陆洋（香港城市大学）、李明林（福州大学）

---

### 特邀报告 1：纳米孔超灵敏传感器的设计理论与制造



**陈云飞**，东南大学，教授/博导，2009 年度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，入选江苏省第三期“333 高层次人才培养工程”第三层次和江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”第二层次。主要从事微纳医疗器械、微纳机电系统等方面的研究工作。做为第一负责人主持完成国家自然科学基金 6 项，其中 4 项被评为优，江苏省自然科学基金 3 项、863MEMS 重大专项 1 项、国家重大基础研究计划 1 项。目前主持国家自然科学基金重点项目 1

项，国家重大基础研究计划 1 项。在国际学术刊物发表 SCI 收录学术论文 100 多篇。1997 年作为第 1 获奖人，获得国家教育部三等奖 1 项；1998 年作为第 2 获奖人，《机械设计》课程获得江苏省教委一等奖；出版“九五”重点电子教材 1 本，该电子教材获得 2002 年度全国普通高校优秀教材“机械设计系列软件”一等奖。2008 年获江苏省科技进步一等奖 1 项；2015 年获教育部自然科学一等奖 1 项，2018 年获国家自然科学基金二等奖。

#### 报告摘要：

讨论离子在纳米孔内的运输机理，分析固液界面双电层结构、离子浓度、表面亲疏水特性以及离子特异性对离子在受限空间内的运输规律。介绍纳米孔传感器的设计方法、制造工艺对纳米孔成孔质量的影响。在纳米孔设计与制造基础上，构建超灵敏传感器，实现对生物分析的辨识。

## 特邀报告 2: In-situ Electron Tomography



王宏涛，浙江大学求是特聘教授。致力于力学与人工智能及材料基因方向的交叉融合，提出 4D-TEM 概念并研发首台 4D-TEM 仪器；提出数据同源、方法同源基于神经网络的跨尺度计算新方法；以上实验与模拟方法应用于高强高导铜合金的力学设计，并推动关键铜合金材料在高铁导线等方面的应用。

### 报告摘要:

Electron tomography (ET) has been demonstrated to be a powerful tool in addressing challenging problems, such as complex three-dimensional structures at nano scales. Advancing ET to higher resolution and broader applications requires novel instrumentation design to break the bottlenecks both in theory and in practice. Meanwhile, in-situ transmission electron microscopy (TEM) has been demonstrated as an invaluable method to understand the nanoscale mechanism behind the macro behaviors of materials. The advancement of both methods now comes to a joint that 3D structural evolution characterization may be appealing in understand 3D interactions among various microstructures. In this work, we demonstrate for the first time that 3D dislocation network evolution can be visualized by in-situ electron tomography, using the XNano TEM holder developed at Center for X-Mechanics, Zhejiang University. The plasticity mechanism can now be understood in unprecedented details. The instrument has a compact four-degree freedom (three-dimensional positionings plus self-rotation) nano-manipulator with a loading device in order to realize the in-situ ET applications. All four-freedom movements are precisely driven by the built-in piezo actuators, minimizing the artefacts due to the transmission electron microscope stage vibration and drifting. Full 360° rotation has been realized with an accuracy of 0.05° in the whole range, which solves the missing wedge problem. Meanwhile, the specimen can be placed to the rotation axis with an integrated 3D nano-manipulator, greatly reducing the effort in tracking sample locations during tilting. We expect that more delicate researches, such as atomic in-situ ET, can be carried out extensively by means of this holder in the near future.

### 特邀报告 3: 基于线缺陷的功能材料设计



**张助华**, 2010 年于南京航空航天大学获得博士学位, 现任南京航空航天大学教授。2009-2010 年在美国内布拉斯加大学林肯分校做访问研究, 2012-2017 年于美国莱斯大学材料科学与纳米工程系进行博士后合作研究。长期致力于硼、碳、氮等组成的低维功能材料与结构的物理力学研究, 现主持国家和省部级项目共 10 项。已在国际学术杂志发表 SCI 论文 90 篇, 均篇影响因子 10.2。2009 年以来以第一/通讯作者在 Chem. Soc. Rev. (1 篇)、Nature Nanotech. (2 篇, 并列第一)、Nature Chem. (1 篇)、Science Adv. (1 篇)、Nature Commun. (2 篇, 并列第一)、Phys. Rev. Lett. (1 篇)、J. Am. Chem. Soc. (5 篇)、Nano Lett. (3 篇)、Angew Chem. (2 篇)、Adv. Funct. Mater. (2 篇)、J. Mech. Phys. Solids (2 篇) 等著名期刊上发表论文 48 篇。论文共计被引用 4000 余次, 其中 SCI 他引 3000 余次, 被 Nature Nanotech.、Nature Rev. Mater. 等 6 次选为研究亮点或封面推荐, 被英国皇家物理学会 Nanotechweb、美国能源部等权威学术媒体评论二十余次。

#### 报告摘要:

材料不可避免地含有各种各样的缺陷, 包括点缺陷、拓扑缺陷和晶界等。尤其, 晶界等线形缺陷一旦出现, 不仅很难修复, 而且会显著影响材料的力学、电子和磁性质, 是材料研究领域关注的焦点之一。本报告将基于低维材料线缺陷的组装和设计, 形成各种新颖的二维和三维结构。首先, 针对石墨烯晶界形状的多样性, 解析发现石墨烯晶界的形状是由晶畴的对称性控制; 在晶畴不对称情况下, 弯曲型晶界通过局部的对称性降低能量, 比直线型晶界更稳定, 所得结构与先前实验一致; 此外, 弯曲型晶界具有更高的拉伸强度和一致的半导体电输运性质。其次, 石墨中的螺旋位错可以用于设计形成具有拓扑半金属性的三维碳的同素异形体, 它具有超常的弹性和奇异的拓扑态。最后, 我们还将介绍线缺陷在二维硼单层(硼烯)中的组装行为, 形成具有丰富物理性质的新硼烯相。

**特邀报告 4:** Nanomechanical characterization of the mechanical strength of carbon nanotube - polymer interfaces



陈小明，博士，现任西安交通大学机械工程学院教授，博导，副所长。于 2014 年获得美国纽约州立大学宾汉姆顿分校机械工程专业博士学位。并分别于 2016 和 2017 年入选西安交通大学“青年拔尖人才”支持计划和国家级青年人才培养计划。他主要从事微纳制造技术及微纳尺度界面效应等方面研究，主持或参加国家自然科学基金和国家重点研发计划等国家级项目 4 项；并参与美国美国空军科学研究项目，美国国家自然科学基金项目等国家级项目 4 项。在国际重要刊物上发表论文二十余篇，并参与撰写学术书籍 2 部，担任十余个国际高水平期刊评审专家。研究成果被包括 Nature, Physical Review Letters 等高水平期刊引用及被国际 ScienceDaily, Phys.org 等十多个知名科学信息平台报导。

**报告摘要:**

The light, strong and durable characteristics of nanofiber-reinforced polymer-matrix nanocomposites are attractive to a number of industries such as the aerospace and automotive industries. Carbon nanotubes (CNTs) are one of the most promising reinforcing fibers for nanocomposite due to their ultra-strong, resilient and low-density properties. However, the understanding of the interfacial load transfer on CNT-polymer interfaces remains elusive. In this talk, we present experimental studies of the mechanical strength of the interfaces formed by individual CNTs with PMMA/Epoxy matrices. The nanotube-polymer interfacial strength was characterized by using in situ electron microscopy nanomechanical single-tube pull-out techniques. By pulling out individual double-walled nanotubes from polymer matrices using atomic force microscopic force sensors inside a high-resolution scanning electron microscope, both the pull-out force and the embedded tube length were measured with resolutions of a few nano-newtons and nanometers, respectively. The interfacial shear strength (IFSS) of the CNT-polymer interface was quantified through interpreting the nanomechanical single-tube pull-out measurements using a continuum mechanics model. The nanomechanical measurements reveal the shear-lag effect in the load transfer on the CNT-polymer interface. The research findings help to better understand the load transfer on the tube-polymer interface and the reinforcing mechanism of the nanotubes, and ultimately contribute to the optimal design and performance of nanotube-reinforced polymer nanocomposites.

## 特邀报告 5: 基于导电 AFM 石墨烯原子尺度载流摩擦特性和调控研究



**彭倚天**，东华大学机械学院，教授，博士生导师，副院长。主要从事微机械和摩擦学研究。毕业于清华大学摩擦学国家重点实验室，获得工学博士学位，赴美国亚利桑那大学电子系，中佛罗里达大学机械与航天工程系从事博士后研究；主持国家自然科学基金三项、总装预研-教育部支撑项目、重点研发计划课题、教育部博士点基金等省部级项目十余项，获得 2011 年度教育部“新世纪优秀人才”支持计划（先进制造领域），以第一作者和通讯作者在《Carbon》，《Nanoscale》，《ACS Applied Materials & Interfaces》等杂志发表 SCI 收录论文 50 余篇，其中影响因子大于 3 的 30 篇，论文 SCI 他引 800 余次，单篇 SCI 他引 95 余次，获得 2012 年教育部自然科学一等奖（排名第 7）。

### 报告摘要:

石墨烯的超薄厚度具有优异的机械、电学性能和优异摩擦性能，做为微/纳机电系统（MEMS/NEMS）的器件具有广阔应用前景，同时作为固体润滑剂在 MEMS/NEMS 抗磨减摩应用，因此带电下石墨烯的纳米摩擦特性及机理研究显得十分重要。首先基于导电 AFM 对石墨烯表面结构和性质进行调控，实现石墨烯表面纳米摩擦的精准调控，建立石墨烯纳米摩擦精准调控表面力学模型；基于石墨烯表面台阶，研究带电环境下石墨烯台阶的摩擦性能及机制，揭示石墨烯表面纳米台阶的带电摩擦磨损特性及机制；基于导电 AFM 纳米力学测量，研究不同方向载流摩擦磨损下石墨烯的纳米摩擦特性，为石墨烯应用 MEMS/NEMS 应用于提供选择和科学依据，有效提高可靠性、延长使用寿命，具有理论意义和实际应用价值。

## 特邀报告 6: 压电 MEMS 器件设计理论与实验研究



杜亦佳，中国工程物理研究院微系统与太赫兹研究中心，副研究员。2013年-2015年在中国工程物理研究院无线电物理博士后流动站进行博士后工作，与德国 IHP 联合开展 MEMS 执行器技术研究；2015年至今，在中国工程物理研究院电子工程研究所微系统与太赫兹研究中心从事压电微执行器与固态传感技术研究。先后主持与参与了创新特区项目、中国工程物理研究院重大项目、国家自然科学基金面上项目等科研项目。近年来已经在国际期刊 JACS、IEEE J MEMS、SENSOR ACTUAT A-PHYS、IEEE T NUCL SCI 等上发表了多篇学术论文。

### 报告摘要:

MEMS 技术和压电材料的融合发展开辟了新的应用领域，正在带来 MEMS 产业的重大变革。围绕在超声波换能器、压电微执行器等方面的设计理论与实验研究，形成压电薄膜改性-压电 MEMS 器件设计与制备-自动测试平台-压电模块集成-内嵌检测闭环控制的研究链条。一方面，超声波换能器具有宽带、高灵敏度、低功耗、在线监测等特点，可用于工业在线无损检测、便携式医学成像等领域。另一方面，压电 MEMS 微执行器能够精确自主执行复杂动作如直线、旋转、加速度、钳动等，以此完成对极微小器件与结构的微纳米尺度精确操作，可用于自适应光学系统、智能微小机器人等领域。

## 特邀报告 7: Progress on advanced sensors devices and sensing materials: Conceptualization, Methodology and Applications



吕晓洲，工学博士，副教授，博士生导师，现工作于西安电子科技大学空间科学与技术学院。主要研究方向为柔性电子与微纳传感器，研究领域涉及柔性功能材料的制备与测试、新型微纳传感器的设计与制作、柔性电子与仿生电子器件的设计与应用。主持 GF 创新特区项目-H863 项目、GF 科技创新特区项目-163 项目、装发预研项目、国家自然科学基金-青年科学基金项目、陕西省自然科学基金基础研究计划-重大基础研究项目、陕西省自然科学基金基础研究计划-青年人才项目、中国博士后科学基金、陕西省博士后基金项目等。担任《Composites Science and Technology》，《IEEE Sensors Journal》，《Review of Scientific Instruments》，《IEEE Trans. on Electrical Devices》等期刊审稿人；在《IEEE Trans. on Industrial Electronics》、《IEEE Trans. on Electron Device》、《IEEE Trans. on Measurement & Instrumentation》、《Measurement》、《Measurement Science & Technology》、《IET Science, Measurement & Technology》、《电子学报》等国内外期刊上发表 SCI 论文 20 篇（其中中科院 I 区 2 篇，II 区 4 篇），获得国家发明专利授权 7 项。

### 报告摘要：

This talk introduces the recent progress on advanced sensor devices of conceptualizations, methodology and application contributed by our team, which including Yarn tension sensor based on Surface Acoustic Wave devices, three dimensional interfacial stress sensor based on PDMS and parallel capacitance, three dimensional graphene foam (3DGF), three dimensional interfacial stress sensor based on 3DGF, Proximity sensors based on parallel coupling capacitance. The applications of these sensors also will be introduced.

## 特邀报告 8: 激光等离子激元初始汽泡成核及调控机理研究



王玉亮，北京航空航天大学机械工程及自动化学院，博士，博导，副教授。于 2004 年，2006 年和 2009 年分别于哈尔滨工业大学机电工程学院获得学士、硕士和博士学位。2007-2009 年和 2010-2012 年在美国俄亥俄州立大学机械系分别进行博士生联合培养学习和博士后研究。主要研究方向为微纳尺度精密测量和控制及其在微纳米流体力学和细胞生物力学中的应用。获全国百篇优秀博士论文提名，美国 James 综合癌症中心 Pelotonia 奖，2018 年中欧人才计划支持。所提出的基于视觉传感的微纳测量技术获 2017 年国家自然科学基金机械学科十佳优秀结题项目称号。迄今为止，在美国科学院院刊 PNAS 以及 ACS Nano 等期刊发表 SCI 论文 40 余篇，任 Cancer Research Frontiers 编辑及 Science Advances, Langmuir, Soft Matter 等 SCI 期刊长期审稿人。

### 报告摘要:

浸入液体中的金、银、铂等贵金属纳米粒子在激光照射下存在等离子激元效应，快速生热并汽化周围液体，生成所谓的激光等离子激元气泡。激光等离子激元气泡在太阳能利用、细胞治疗和微纳操作等诸多领域有着巨大的应用潜力，成为近年来微纳米流体力学领域的热点研究方向。本研究采用超高速光学成像技术，首次发现在激光照射材料表面数微秒至几百微秒后，在固液界面会迅速生成一个全新形态的汽泡，称之为初始等离子激元汽泡。实验结果表明，区别于常规等离子激元气泡，初始等离子激元汽泡完全由水汽组成，其生长速度可达十几米每秒且具有很高的光汽转换效率。通过建立基于热扩散和液体亚稳相分解的理论模型，我们揭示了初始气泡的成核机理。同时，探究了液体沸点、激光光强和液体中溶解气体浓度等参数对初始等离子激元汽泡成核和生长的调控机理，实现了初始等离子激元汽泡的可控生成。该研究深入系统的揭示了初始等离子激元微米汽泡的成核和调控机理，为其相关应用奠定了理论基础。



## 特邀报告 9: 高超声速风洞 MEMS 摩阻测试技术



王雄(1981-), 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所, 副研究员, 男, 湖北老河口人。2004 年于武汉大学获得学士学位, 2012 年于国防科技大学获得博士学位。现任中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所副研究员, 主要从事风洞机电设备研制、MEMS 传感与测试技术研究。

### 报告摘要:

针对高超声速条件下表面摩阻精确测量的技术难题, 提出了浮动元件与待测壁面平齐、信号输出微结构与风洞流场隔离的高超声速风洞摩阻测量新方法和 MEMS 摩阻传感器方案; 研究了传感器表头结构分解加工、基于视觉精密定位与微操作集成的工艺方法, 完成了两批次 MEMS 摩阻传感器原理样机研制、静态校准和高超声速风洞验证试验。结果表明: 设计的 MEMS 摩阻传感器表头结构以及封装形式适用于高超声速风洞摩阻测量试验环境, 研制的 MEMS 摩阻传感器样机信号输出稳定、抗干扰能力强、灵敏度高、重复性精度高, 基本解决了高超声速条件下表面摩阻测量的稳定性、健壮性以及常规摩阻天平测量的灵敏度低等问题, 为发展高超声速风洞摩阻预测技术提供一种初步可行的试验研究手段。