

微/纳米力学、多尺度力学基础及测试技术

微/纳米材料的发现与合成为微/纳米设备、电子器件及机电系统的开发提供了基本的结构与功能构件。除了得天独厚的纳观尺寸外，这些微/纳米材料更表现出超出任何宏观材料的优越性能，如超高强度，极限刚度，超级韧性、极高的电/热传导性等。这些超常性能的发现推动了微/纳米技术的高速发展，并将带动众多工业领域内的技术革命及纳观科学理论研究的新突破。微/纳米材料特性及其应用中包含有很多微/纳米世界特有的力学现象与力学问题，因此对微/纳米力学理论的研究以及其研究方法的创立已经成为力学研究领域内的重要前沿课题。以下为研究骨干在近几年以来已完成的代表性阶段成果：

(1) 微纳米变形载体的制作方法和技术

采用粘弹性力学理论建立有限元模型对纳米压印制作高密度光栅的工艺参数进行优化设计。提出了采用纳米压印和离子束微加工方法相结合的制作高温云纹光栅的新方法，为高温变形载体的制作提供了新的途径。对云纹法理论做了深入的研究，提出了云纹反演理论表征纳米压印制作的光栅特征参数，为纳米压印在金属表面的推广应用奠定了理论基础。

(2) 热障涂层宏微观残余应力的实验测试新方法

揭示热障涂层残余应力产生的机理。针对引起热障涂层结构失效的重要因素—残余应力，采用云纹干涉法和纳米压痕法，从宏微观两方面多尺度地测试了热障涂层残余应力，指出热障涂层界面处应力出现较大的突变，合金基体结构中应力呈非线性分布，结合热喷涂的加工工艺，分析了残余应力的来源，为理论分析提供了重要参考。

(3) 纳米（复合）材料动力学行为

结构稳定性和纳米复合材料的失效模式。运用理论分析结合实验（模拟方法）验证的方法全面系统地的证实了连续模型在纳米力学中的适用性，并揭示出其局限性存在的物理根源；创造性地提出了二维壳的概念从而扩大了连续力学模型的适用范围，大大推动了纳米力学中“单层原子材料等效厚度”这一基本问题的解决；创立了完整的振动分析方法，从而首次将壳模型运用于纳米材料复杂振动方式的研究。这些原创性成果显著提高了纳米力学研究的广度和效率，极大推进了对纳米材料力学行为和其物理起源的深入了解。

(4) 分子（动）力学模拟

运用分子（动）力学模拟和连续力学理论相结合的方法，首次报道了多项纳米结构的“反常”特性，揭示了其产生的力学机理并定量评估了其对纳米材料力学性能的影响。将纳米材料的物理特性融入传统理论中，创立了纳米尺度下“液-固耦合”力学模型，及板状纳米压电材料机电耦合理论体系。此外，还率先研究了 ZnO-CNT 复合纳米管的动力学特性，并据此提出了压电纳米探头的原创设计。这些探头镶入材料基体形成的“网络系统”可以有效监测材料的健康，早期预防失效的发生。

(5) 多因素耦合作用下高速转子动力学模型，

建立了多因素耦合作用下高速转子动力学模型，并对其非线性行为进行了数值仿真，利用模态综合法研究了复杂转子系统的非线性动力学行为，编制了相应的分析计算程序；磁悬浮轴承-转子系统动力学行为的控制研究也取得了一些结果。

团队成员：

| | | | | | |
|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 孙保苍 | 谈梅兰 | 朱建国 | 韩同伟 | 张朝霞 | 戴乐云 |
| 教授/博士 | 教授/博士 | 副教授/博士 | 副教授/博士 | 讲师/硕士 | 工程师/本科 |

研究成果：

代表性论文：

- [1] 朱建国, 李艳杰, 王庆华, 谢惠民. 基于 FIB 的微观变形载体制作技术研究及应用. 实验力学, 2013,28(2):1-7.
- [2] J Zhang, C.Y. Wang. Size- and temperature-dependent piezoelectric properties of gallium nitride nanowires, Scripta Materialia, 2013, 68: 627-630 (SCI :000316042100021)
- [3] Zhu JG, Xie HM, Hu ZX, et al. Cross-sectional residual stresses in thermal spray coatings measured by moire ´interferometry and nanoindentation technique. Journal of Thermal Spray Technology. 2012, 21: 810-817. (SCI: 000307521400006)
- [4] Hua Shiqun, Luo Ying. Improvement of the coating formulation in luminescent photoelastic coating method. Experimental Techniques. (SCI 刊源, Accepted)
- [5] 朱建国, 谢惠民, 刘战伟. 热障涂层力学性能的实验测试方法研究进展. 力学学报, 2013, 45(1): 45-60. (EI)
- [6] 韩同伟, 贺鹏飞, 骆英, 张小燕. 石墨烯力学性能研究进展[J]. 力学进展, 2011, 41(3): 279-293.
- [7] 韩同伟, 施元君, 贺鹏飞, 吴艾辉, 姜燕. Stone-Wales 拓扑缺陷对石墨烯拉伸力学性能的影响[J]. 固体力学学报, 2011, 32(4): 619-624. (EI: 20120714765505)
- [8] Wang CY, Li L J, Chew Z J. Vibrating ZnO-CNT nanotubes as pressure/stress sensors. Physica E. 2011, 43: 1288-1293(SCI: 000290838400025)
- [9] Wang CY, Murmu T, Adhikari S. Mechanisms of nonlocal effect on the vibration of nanoplates. Applied Physics Letters.2011, 98: 153101. (SCI: 000289580800049)
- [10] Wang CY, Adhikari S. ZnO-CNT composite nanotubes as nanoresonators. Physics Letter A.

2011, 375: 2171-2175(SCI: 000291192200007)

- [11] 韩同伟, 贺鹏飞, 王健, 吴艾辉. 空位缺陷对单层石墨烯薄膜拉伸力学性能的影响. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(8): 1210-1214. (EI: 20104213309386)
- [1] 韩同伟, 贺鹏飞. 石墨烯弛豫性能的分子动力学模拟[J]. 物理学报, 2010, 59(5): 482-487. (SCI: 000277733700075)
- [12] 韩同伟, 贺鹏飞, 王健, 吴艾辉. 单层石墨烯薄膜拉伸变形的分子动力学研究[J]. 新型碳材料, 2010, 25(4): 261-266. (SCI: 000281534800004, EI: 20103813251717)
- [2] Chowdhury R, Wang CY, Adhikari S. Low frequency vibration of multiwall carbon nanotubes with heterogeneous boundaries. Journal of Physics D. 2010, 43: 085405. (SCI: 000274411500017)
- [3] Wang CY, Li CF, Adhikari S. Axisymmetric vibration of single-walled carbon nanotubes in water. Physics Letters A. 2010, 374: 2467-2474. (SCI: 000278284000013)
- [4] Chowdhury R, Wang CY, Adhikari S. Vibration and symmetry-breaking of boron nitride nanotubes. Nanotechnology. 2010, 21:365702(SCI: 000280878500013)
- [5] Chowdhury R., Wang CY, Adhikari S., Tong FM. Sliding oscillation of multiwall carbon nanotubes. Physica E. 2010,42: 2295-2300(CI:000280897700021)
- [13] Wang CY, Zhao Y, Adhikari S, Feng YT. Vibration of axially strained triple-wall carbon nanotubes. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2010, 7: 2176-2185. (SCI: 000280960300052)
- [14] 孙保苍等, 轴承-转子系统在弱控制作用下的动力学行为. 振动、测试与诊断. 2009, 29(2):184-187 (EI: 20093012214524)
- [15] Zhu J G, Xie H M, Tang M J, et al. Optimum design of processing condition and experimental investigation of grating fabrication with hot embossing lithography. Acta Mechanica Solida Sinica, 2009, 22(6):665-671. (SCI: 000278405200016)
- [16] Tong FM, Wang CY, Adhikari S. Axial buckling of multiwall carbon nanotubes with heterogeneous boundaries. Journal of Applied Physics. 2009, 105: 094325(SCI: 000266263300156)
- [17] Wang CY, Li CF, Adhikari S. Dynamic behaviors of microtubules in cytosol. Journal of Biomechanics. 2009, 42: 1270-1274(SCI: 000267814600015)
- [18] Wang CY, Mylvaganam K, Zhang L C. Wrinkling of monolayer graphene: A study by molecular dynamics and continuum plate theory. Physical Review B. 2009, 80: 155445 (SCI: 000271352000154)
- [19] Wang CY, Zhang LC. Circumferential vibration of microtubules with long axial wavelength. Journal of Biomechanics. 2008, 41: 1892-1896.(SCI: 000257630800010)
- [20] Wang CY, Zhang LC. A critical assessment of the elastic properties and effective wall thickness of single-walled carbon nanotubes. Nanotechnology. 2008, 19:075705. (SCI: 000252967300028)
- [21] Wang CY, Zhang LC. An elastic shell model for characterizing single-walled carbon nanotubes. Nanotechnology. 2008, 19: 195704. (SCI: 000255097900015)

发明专利:

| 序号 | 专利名称 | 专利类型 | 发明人(排序) | 授权时间 | 专利号 |
|----|------|------|---------|------|-----|
|----|------|------|---------|------|-----|

| | | | | | |
|----|-------------------------|--------|----------|--------|----------------------|
| 1 | 一种测量微尺度基体薄膜残余应力的方法 | 授权发明专利 | 朱建国(4/4) | 201304 | ZL20111023253 6.2 |
| 2 | 微/纳/光电子器件界面结构的跨尺度设计方法 | 授权发明专利 | 杨平(1/9) | 201303 | ZL20111016439 1.7 |
| 3 | 一种石墨烯聚脲纳米复合材料的制备方法 | 授权发明专利 | 韩同伟(2/4) | 201301 | ZL20111002554 2.0 |
| 4 | 一种三轴热对流加速度传感器芯片的制作方法 | 授权发明专利 | 杨平(5/6) | 201211 | ZL20111000065 4.0 |
| 5 | 顺磁性聚脲纳米管磁共振成像对比剂的制备方法 | 授权发明专利 | 韩同伟(5/5) | 201207 | ZL20101022900 3.4 |
| 6 | 一种微纳米尺度散斑的制作方法 | 授权发明专利 | 朱建国(4/4) | 201206 | ZL20101013883 7.4 |
| 7 | 基于伪杂交混合遗传算法的机构运动链同构识别方法 | 授权发明专利 | 杨平(1/2); | 201206 | ZL20091018413 8.0 |
| 8 | 大功率芯片液体冷却装置 | 授权发明专利 | 杨平(1/5) | 201205 | ZL20101026232 5.9 |
| 9 | 磁性水溶性壳聚糖磁共振成像对比剂的制备方法 | 授权发明专利 | 韩同伟(4/4) | 201205 | ZL20101022902 2.7 |
| 10 | 一种制作云纹光栅的方法和纳米压印设备 | 授权发明专利 | 朱建国(2/4) | 201202 | ZL20101019849 3.6 |
| 11 | 一种高温云纹光栅的制作方法 | 授权发明专利 | 朱建国(1/3) | 201007 | ZL20091013572 8.4 |

在研项目:

| 序号 | 项目名称 | 项目来源 | 项目起讫时间 | 总经费(万元) | 负责人 |
|----|---|-----------|---------------|---------|-----|
| 1 | 江苏省高层次人才引进基金 | 省“双创”人才计划 | 201212-201612 | 100 | 王成原 |
| 2 | 热障涂层失效行为的实验力学方法与技术研究(清华大学联合申报)(11232008) | 国家自然重点基金 | 201301-201712 | 70 | 朱建国 |
| 3 | 飞秒激光光栅制备技术及其在耐磨涂层残余应力测试中的应用(11372118) | 国家自然科学基金 | 201401-201712 | 106 | 朱建国 |
| 4 | 纳米压印光栅制备技术及其在金属激光冲击强化力学行为检测中的应用研究(清华大学联合申报)(11172151) | 国家自然科学基金 | 201201-201512 | 10 | 朱建国 |
| 5 | 高温超导带材的力学特性及其对超导电性的影响(河海大学联合申报)(10972071) | 国家自然科学基金 | 201201-201512 | 5 | 张朝霞 |
| 6 | 石墨烯的力学行为及原子缺陷与掺杂的影响(BK2011490) | 省自然科学基金 | 201109-201312 | 20 | 韩同伟 |
| 7 | 石墨烯增强聚合物纳米复合材料的界面微观力学行为研究(12KJB130001) | 省高校自然科学基金 | 201207-201412 | 3 | 韩同伟 |

返回学科