



非线性力学国家重点实验室

<2012> 第1期(总第202期)

简讯

State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

科研进展

陶瓷纳米线：脆性还是延性？什么在控制？

Nanotechnology, 23 (2012), 025703 发表了王军博士等有关 SiC 纳米线室温大塑性变形机制的论文，该论文在陶瓷室温塑性机制研究方面取得重要进展，入选英国皇家物理学会 (Institute of Physics, IOP) 选文集，Nanotechweb 网站在 Lab Talk 版面报导了该学术新闻 (<http://nanotechweb.org/cws/article/lab/48202>)。

该论文是由中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室与来自澳大利亚 (Curtin University, University of Sydney)，中国 (北京航空航天大学，香港城市大学) 和美国 (Brown University) 的科学工作者合作完成的。

英国皇家物理学会 (Institute of Physics, IOP) 指出：选文集 (IOP Select) 是由其编辑根据如下标准选编的：重要的进展或突破，高度的新颖性，对未来的研

究有重要影响。

2011 年 12 月 23 日 Lab Talk 版面的报导如下：

宏观尺度上，陶瓷在室温条件下很脆，但是当结构的特征尺寸减小到纳米尺度时，材料出现了一些新颖的行为。例如，最近实验观测到 SiC 纳米线存在室温大塑性变形行为，然而大多数现有理论分析仅限于弹性行为和脆性破坏。来自澳大利亚（Curtin University, University of Sydney），中国（北京航空航天大学、中国科学院和香港城市大学）以及美国（Brown University）的科学工作者合作填补了这些失去的情节。

研究者注意到实验室合成的 SiC 纳米线的微结构通常包含立方相结构区域、堆垛缺陷、孪晶和晶粒间非晶层。这些结构又常常具有不同的表面形貌，如图 1 所示（透射电镜照片选自 *Adv. Funct. Mater.* 17, (2007) 3435）。

采用分子动力学模拟，这些研究者阐明了 SiC 纳米线的室温大塑性变形行为起源于立方相晶粒沿晶粒间非晶层的反向滑动，该非晶层与纳米线的轴线方向呈 19.47° 夹角。这种延性行为在 700 K 以下的温度是热稳定的。该研究也揭示了实验上 SiC 纳米线力学性能（杨氏模量，强度，延伸率）测量值分散的机理在于 SiC 纳米线中微结构的各向异性。该研究组的结果为人工合成更多特定力学性能的陶瓷材料在微结构设计上提供了有益的线索。

该研究得到中国国家科技部 973 计划(2007CB814803)、中国国家自然科学基金(11172024, 10732090, 10932011, 11072014, 10972218 和 11021262)、澳大利亚研究理事会(DP0985450)和美国国家科学基金(CMMI-0758535)的资助。

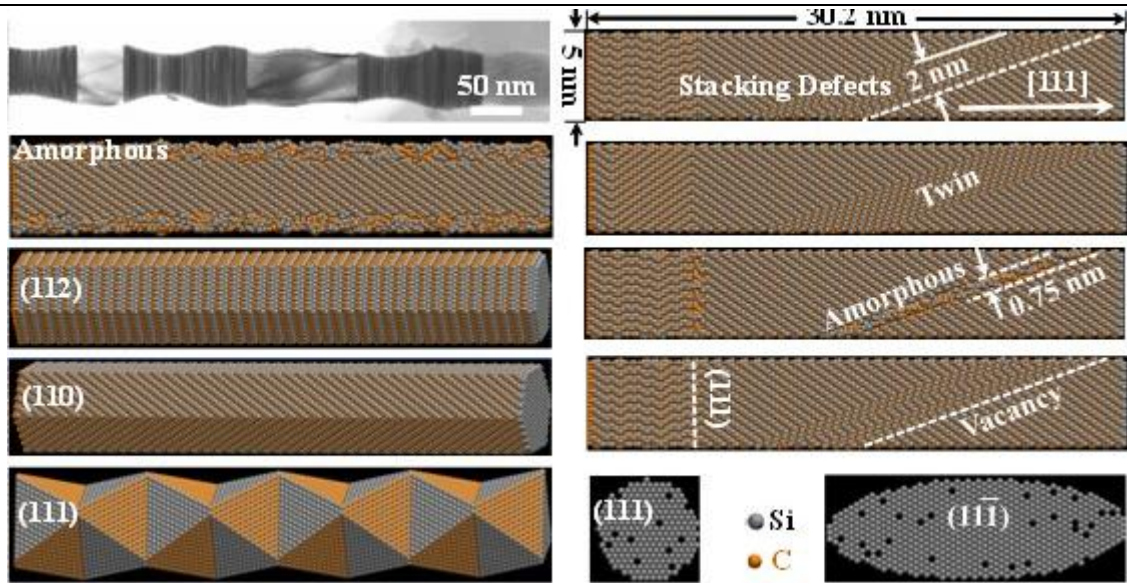


图 1. SiC 纳米线中的微结构。透射电镜照片改编自 Adv. Funct. Mater. 17 (2007), 3435

结题验收

国家杰出青年科学基金项目“块体金属玻璃剪切带形成与演化动力学” 通过结题验收

中科院力学所非线性力学国家重点实验室戴兰宏研究员负责的国家杰出青年科学基金项目“块体金属玻璃剪切带形成与演化动力学”近日通过结题验收。验收专家组综合评价为 A。

块体金属玻璃（也称非晶合金）作为新型结构材料已在国防、空天等众多高新技术领域显示出广阔的应用前景。然而，该材料在室温下极易形成纳米尺度的变形局部化剪切带，并很快诱导材料发生动态脆性断裂，导致材料呈现低的宏观塑性，极大地限制了其作为结构材料的应用。因此，探索块体金属玻璃的剪切带形成机制、演化动力学以及剪切带诱致断裂的机理显得尤为迫切。该项目针对这一关键力学问题，系统、深入地开展了实验研究、理论分析和数值计算工作，揭示了剪切带形成

的新机制、演化动力学规律及其诱致的断裂机理，这对于推动非晶合金材料力学的基础研究和实际应用都具有重要意义。

经国家自然科学基金委结题评审，专家组一致认为，项目达到了预期的研究目标，取得了一系列基础性、创新性的研究进展，主要表现在以下几个方面：（1）建立了块体金属玻璃自由体积-热-粘塑性剪切流动理论框架，得到了具有明确物理内涵的剪切失稳判据。该判据由一个受温度影响的反映自由体积聚集速率过程和自由体积扩散速率过程相互竞争的无量纲 Deborah 数来表征。揭示了金属玻璃剪切带的形成物理起源，即自由体积和热耦合软化促进，其中自由体积软化起主控作用，热软化作为二次效应辅助促进作用。建立了金属玻璃新的本构模型，将失稳判据推广到多种复杂应力状态，理论预测了剪切带扩展方向。（2）建立了金属玻璃剪切带演化动力学模型，发展“剪切带韧性”概念来表征不同金属玻璃体系对于剪切带扩展的敏感程度，揭示出剪切带演化动力学过程主要由动量耗散与自由体积耗散的竞争控制，成功预测了金属玻璃的剪切带厚度和多重剪切带的间距，发现金属玻璃中剪切带的厚度取决于微观流动事件“剪切转变区”(Shear Transformation Zone, STZ)运动导致的局部拓扑失稳，而间距则取决于自由体积耗散和动量耗散的竞争。（3）发现金属玻璃在压剪复合加载下呈现周期纳米尺度剪切带特征，揭示其本质上是一种自发的极限环失稳，背后的控制机理是自由体积流和源的对称破缺。提出了表征金属玻璃“准解理”断裂的“拉伸转变区”(Tension Transformation Zone, TTZ)原子团簇运动模型及金属玻璃韧脆断裂转变准则，阐明了金属玻璃在断裂过程中的能量耗散机制是纳米尺度 TTZ 和 STZ 这两个耦合元过程的固有竞争。（4）从基本原子团簇结构和原子间相互作用势出发，建立了金属玻璃的统一断裂准则，揭示出两个无量纲参数 α （表征压力敏感效应）和 β （剪胀效应）耦合控制这类材料的宏观断裂行为，并进一步构造了金属玻璃的断裂图谱。（5）提出一种新概念的金属玻璃梯度复合 Whipple 空间防护结构，超高速撞击实验表明该结构具有显著的防护效果，

在航天器空间防护等相关领域具有重要的应用前景。

上述研究成果已在 J. Mech. Phys. Solids, Philos. Mag., Acta Mater., Int. J. Impact. Eng., Appl. Phys. Lett., J. Appl. Phys. 等重要学术期刊发表论文 24 篇, 其中 SCI 收录 23 篇, 在国际学术会议上作邀请报告共 10 次, 得到了国内外同行的多次引用与高度评价。项目期间培养博士生 3 名, 硕士生 3 名。其中 1 人获 2008 年度英国 “麦克斯韦青年作者奖”、2009 年度中国科学院院长优秀奖, 2010 年度中国科学院优秀博士学位论文、2011 年度全国优秀博士学位论文提名。

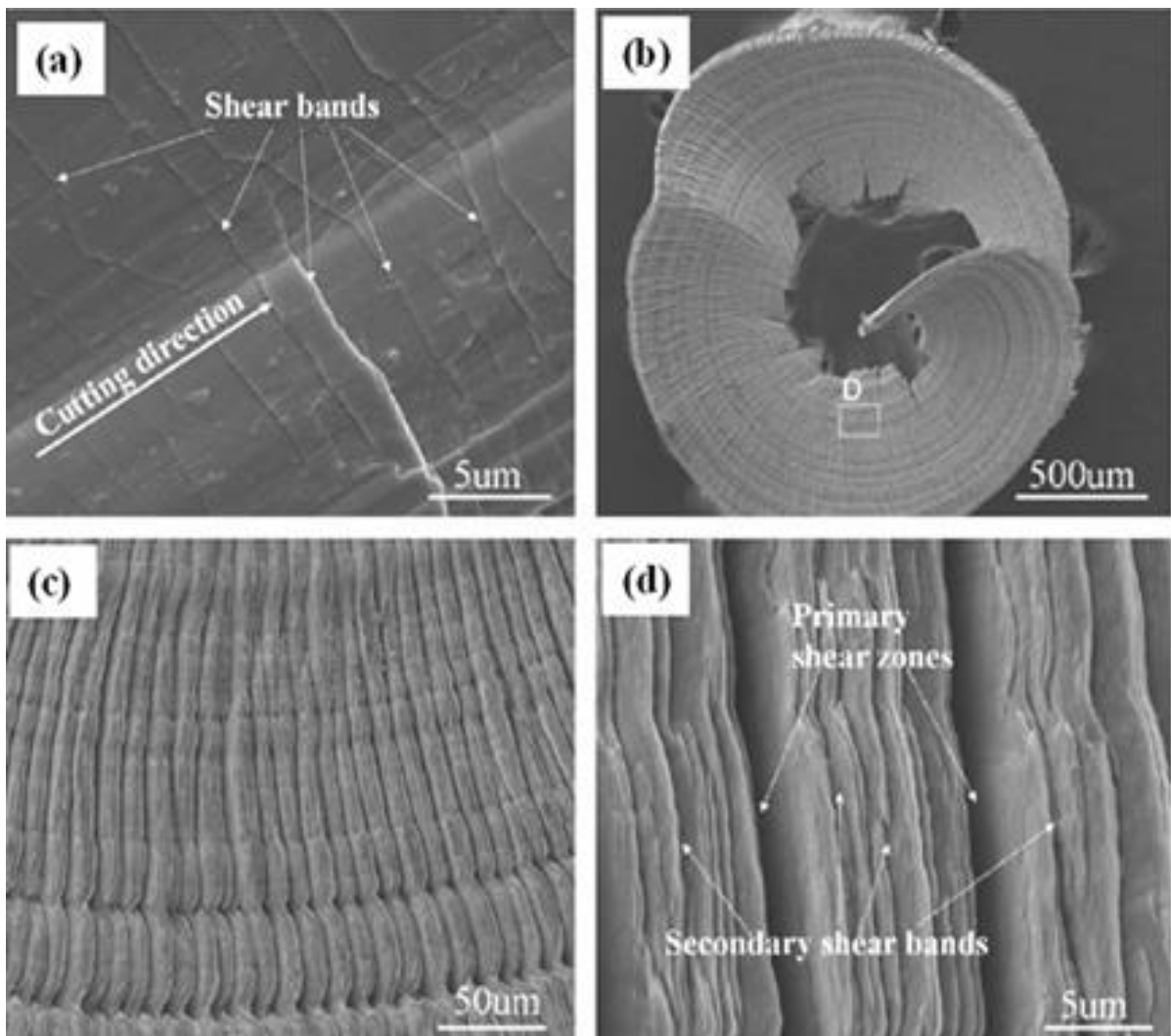


图 2. 金属玻璃压剪复合加载下形成周期纳米尺度剪切带

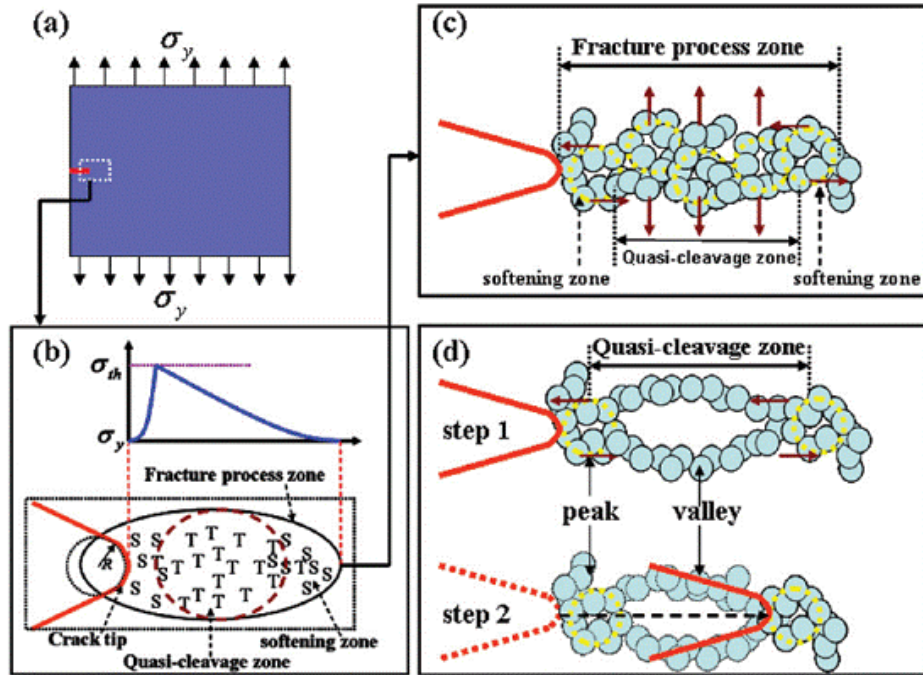


图 3. 金属玻璃断裂过程中的能量耗散机制：纳米尺度 TTZ 和 STZ 耦合元过程的固有竞争

国际期刊任职

洪友士研究员受邀担任国际期刊《工程材料和结构的疲劳与断裂》(FFEMS) 主编

中国科学院力学研究所 LNM 洪友士研究员近期接受国际期刊“Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures (FFEMS)”和英国 Wiley-Blackwell 出版社的邀请，自 2012 年 1 月起担任该刊新一任主编 (Editor-in-Chief)。此前，洪友士研究员曾于 2000—2003 年、2007—2011 年担任该刊副主编。洪友士研究员多年从事疲劳与断裂研究，取得了丰硕的成果，受到了国际学术界的公认，是为数不多的在国际重要期刊担任主编的中国学者。

FFEMS 是疲劳与断裂领域的重要国际期刊，由著名教授 Keith J. Miller 于 1979 年创刊并担任主编至 2000 年。此后 11 年间，分别由利物浦大学 Eann Patterson 教

授和曼彻斯特大学 John Yates 教授担任主编 (Chair Editor)。该刊每年出版 12 期, 刊登论文约 90~100 篇, 由 Wiley-Blackwell 出版发行。

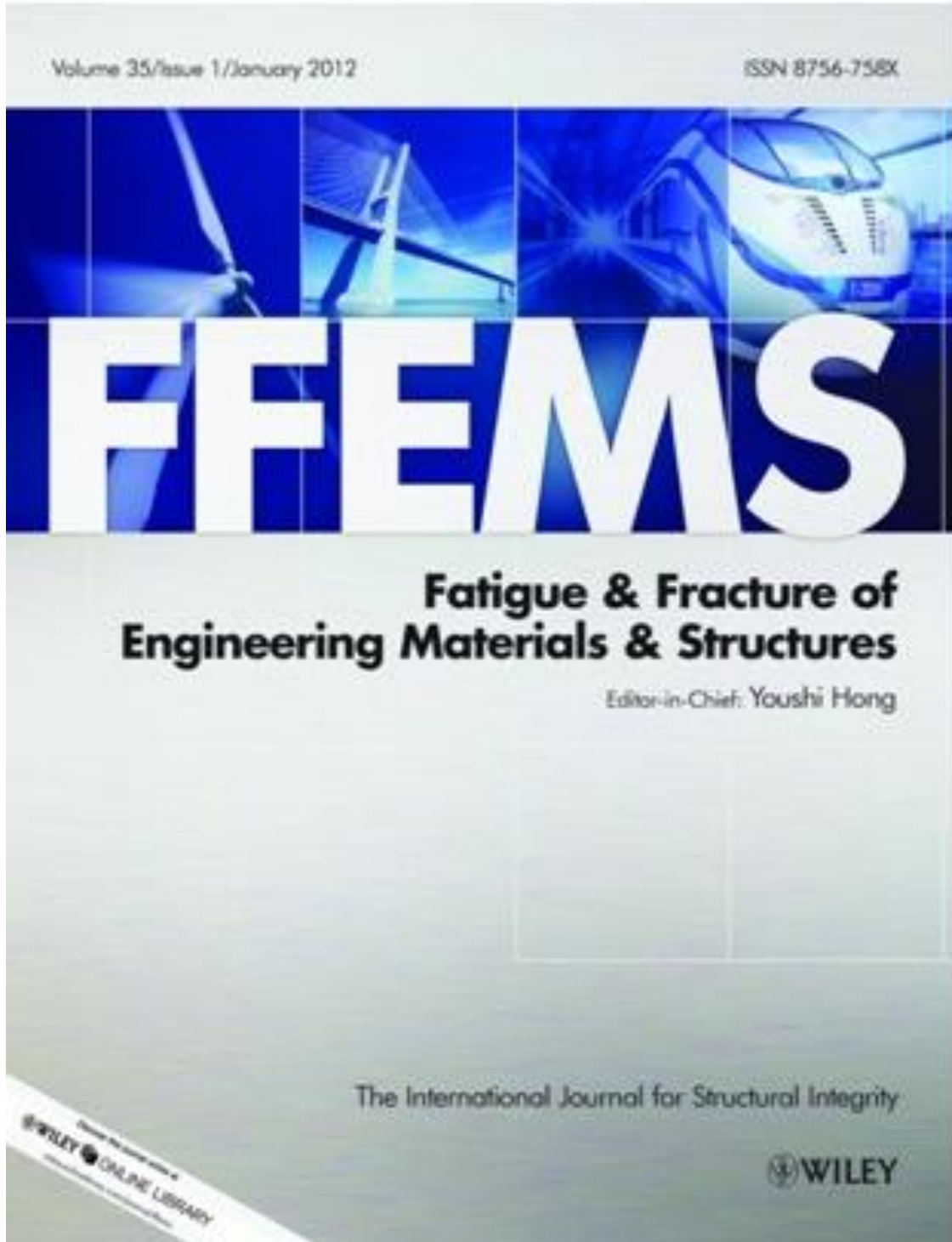


图 4. FFEMS 封面: Volume 35/Issue 1/January 2012

学术活动

LNM 举行青年力学沙龙

2012 年 3 月 23 日, 由 LNM 支部学习委员施兴华主持, 举办了首次 LNM 青年力学沙龙活动。本次活动邀请张吟副研究员做了“柔性接触力学”的报告。10 多位青年科研人员参加了此次活动, 实验室主任何国威和党支部书记李战华也参加了讨论。

张吟的报告生动精彩, 用接触力学的观点诠释了 MEMS 失效机制、纳米材料力学性质测量中的争议以及脸部皱纹的演变。大家就报告内容进行了交流和讨论, 现场气氛热烈和谐。特别是实验平台的几位老师参加了本次学术活动, 希望对实验室科研进展有所了解, 以便更好为课题服务。大家一致认为, LNM 青年力学沙龙对于增进青年科研人员之间的交流, 拓宽青年科研人员的学科领域十分有意义。

LNM 青年力学沙龙系列活动以增进科研交流为目的, 每次活动将邀请一位 LNM 青年科研人员主讲。

学术交流

一、2012 年 3 月 22 日下午, 德国 Marburg 大学教授, 《Phys. Rev. E》杂志副主编 Bruno Eckhardt 博士在 LNM 做了学术报告“Taylor-Couette: from laminar to turbulent flows”, 会后他与何国威研究员讨论了 Taylor-Couette 流的时空关联问题。

二、应何国威研究员的邀请, 美国 John Hopkins 大学教授, 《Journal of Fluid Mechanics》杂志副主编 Charles Meneveau 博士于 2012 年 4 月 4 日下午访问了 LNM。他参观了流体力学实验室, 并与何国威研究员讨论了湍流的欧拉和拉格朗日时间关联问题。

学术报告

形式	日期	报告人	单位	报告题目
学术报告	1月6日	李庆明 教授	School of Mechanical, Aerospace & Civil Engineering, The University of Manchester, UK	Dynamic mode transformation in ring-like structures: from explosion containment vessels to nanotubes
	1月10日	曹则贤 研究员	中国科学院物理研究所	材料科学是一门科学
	1月19日	Prof. K. T. Chan	Department of Mechanical Engineering The Hong Kong Polytechnic University	Re-visitation of the Dirac Equation
	3月7日	Dr. Benny Poon	Test R&D Engineer Intel Corporation	Damage accumulation and hysteretic behavior of MAX phase materials
	3月7日	Prof. Daniel Rittel	Faculty of Mechanical Engineering Technion, Israel Institute of Technology	Is adiabatic shear failure really adiabatic?
	3月21日	Dr. Chao Sun	Faculty of Science and Technology, University of Twente	Bubbly turbulent flow and nanofluidics
	3月30日	Prof. Hao Liu	Chiba University, Japan	Towards computational systems biomechanics: from animal locomotion to the cardiovascular system