
金属所等在仿调幅分解结构高强度纳米金属材料研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/21454.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

金属所等在仿调幅分解结构高强度 纳米金属材料研究中获进展

。近日，中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心研究员金海军团队将脱合金与电沉积相结合，在完全互溶且热力学稳定不易分解的Cu-Au合金体系中构筑出类似调幅分解产生的纳米结构，形成仿调幅分解结构合金（spinodoid alloy）或人工调幅合金。这一新型纳米金属材料具有接近理论值的高强度，并表现出粗晶材料的塑性变形特征，为材料的强韧化和功能化设计提供了新思路。相关研究成果以Ultrastrong Spinodoid Alloys Enabled by Electrochemical Dealloying and Refilling为题，发表在《美国国家科学院院刊》（PNAS）上。

科研团队利用脱合金腐蚀将固溶体Cu-Au中Cu（或Ag-Au中的Ag）选择性溶解，促使未溶解Au原子自组装形成纳米多孔Au，再用电化学沉积将Cu回填入纳米孔，形成全致密仿调幅分解结构Cu/Au合金。新材料保留了前驱体合金的粗大晶粒，其晶内由同为面心立方结构、晶体取向一致、且在纳米尺寸互相贯通Cu、Au两相构成；两相间呈三维空间连续、弯曲的半共格界面，相界上规则地排列着高密度的失配位错；两相特征结构尺寸可在纳米至亚微米区间变化。与多层膜等纳米材料在较高临界尺寸以下即发生软化不同，仿调幅分解结构Cu/Au合金的强度随尺寸减小而持续升高，直至接近其理论强度（失配位错弓出临界应力）。随着特征尺寸细化至50纳米以下，其塑性变形从传统复合材料向单相材料变形方式转变。在此临界尺寸以下，新材料在获得纳米材料高强度的同时，具备单相粗晶材料的变形行为特征，展现出综合力学和物理性能优化的广阔空间。

本工作将理论计算与实验结合，通过分子动力学模拟，强调了界面曲率也是三维连续相界的重要结构特征，且对纳米材料力学行为产生重要影响。研究对Gyroid双相晶体进行的原子尺度模拟计算，揭示了零平均曲率半共格界面的结构，并从理论上澄清了该类光滑连通三维复杂界面与材料理论强度之间的关系，阐明了仿调幅结构双相纳米材料的强度上限。

单相固溶体可通过调幅分解自发转变为晶体结构相同、成分在纳米尺度波动的双连续双相结构。而受制于热力学与动力学条件，该转变的适用合金体系极为有限，其成分调制幅度和界面形态结构难以控制与优化。本研究突破了传统调幅分解的固有限制，拓展了此类材料的合金体系、成分范围和性能空间，促进其研究和应用。此外，新材料的超高密度位错、近极小面三维连续相界、低能（半）共格界面、极低三叉晶界密度等独特结构也为探索纳米金属变形与稳定性中的一些基础科学问题、发展高性能结构功能一体化新材料提供了新机遇。

研究工作得到国家自然科学基金、国家重点研发计划、沈阳材料科学国家研究中心基础前沿及共性关键技术创新项目的支持。南京理工大学科研人员参与研究。

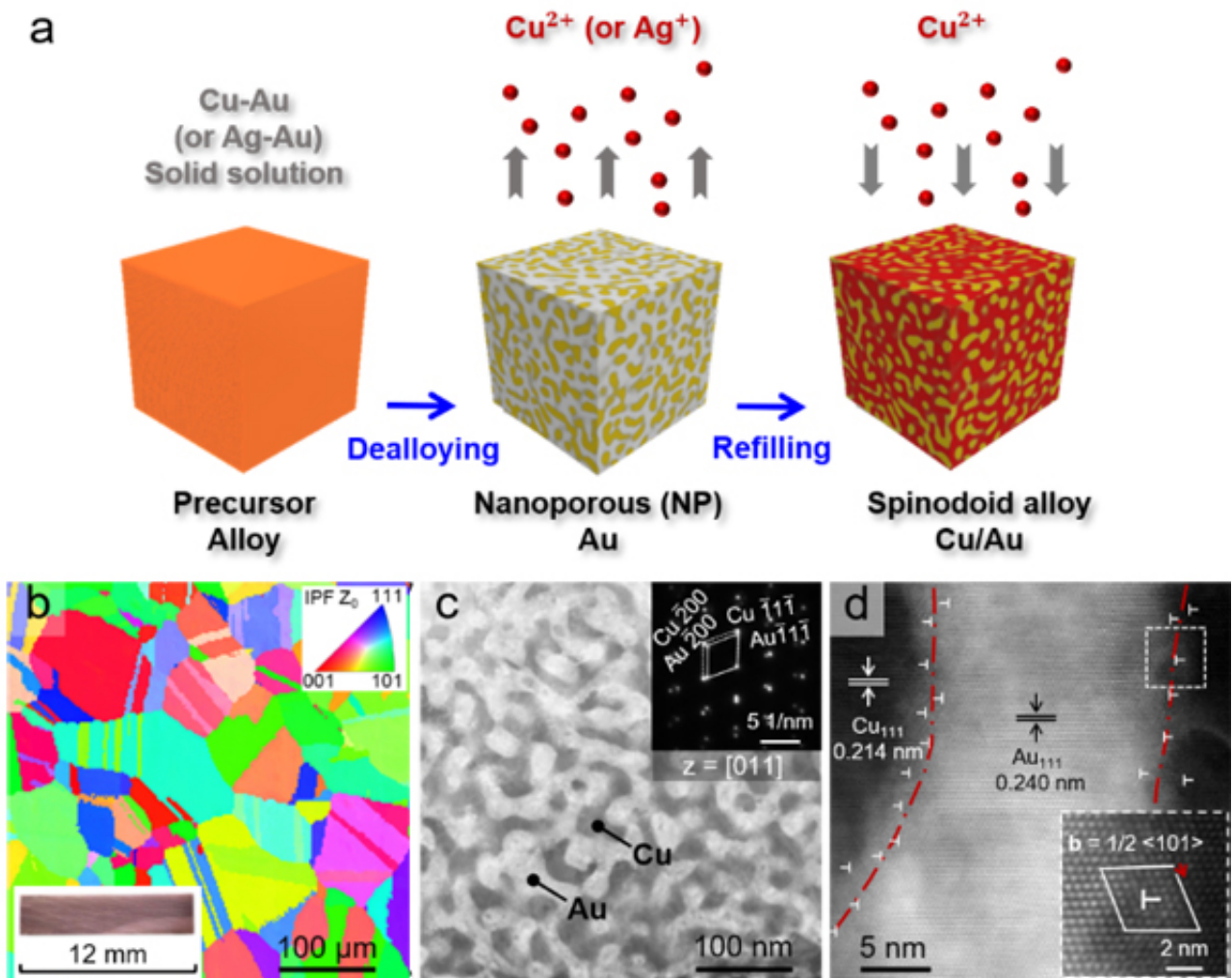


图1.仿调幅分解结构Cu/Au合金的制备及结构特征。(a)脱合金与电沉积结合形成仿调幅分解结构的示意图；(b)EBSD照片显示该材料粗大的晶粒尺寸，(c)TEM照片显示其双连续纳米双相结构，(d)HRTEM照片显示半共格界面和高密度失配位错。

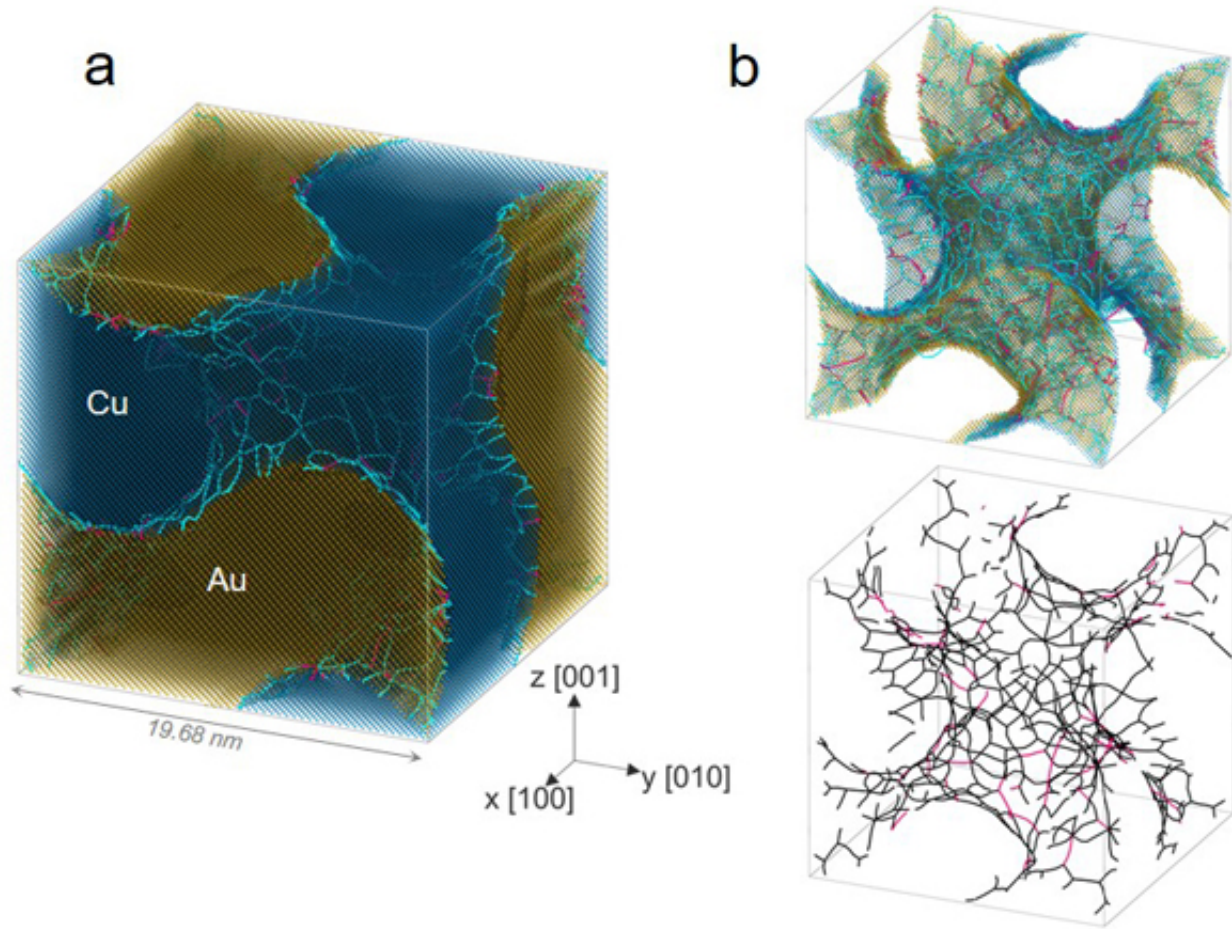


图2.仿调幅分解结构Cu/Au合金的分子动力学模拟。(a) 典型Gyroid双相结构及其光滑连续半共格界面，(b) 界面上大量失配位错组成的三维位错网络。

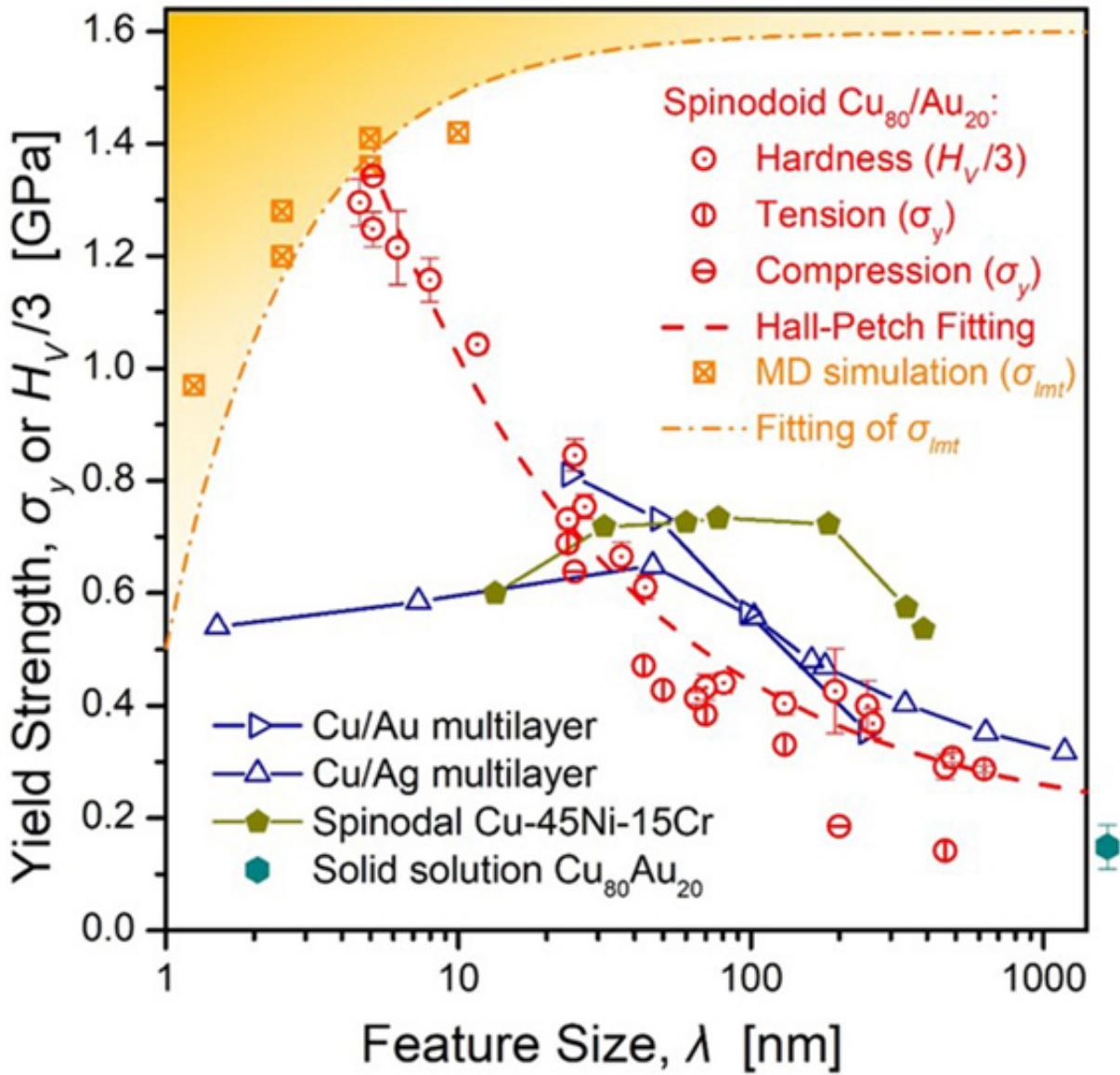


图3.仿调幅分解结构Cu/Au合金屈服强度的特征结构尺寸效应，其强度随结构尺寸减小而持续上升，并逼近理论计算的理论强度。

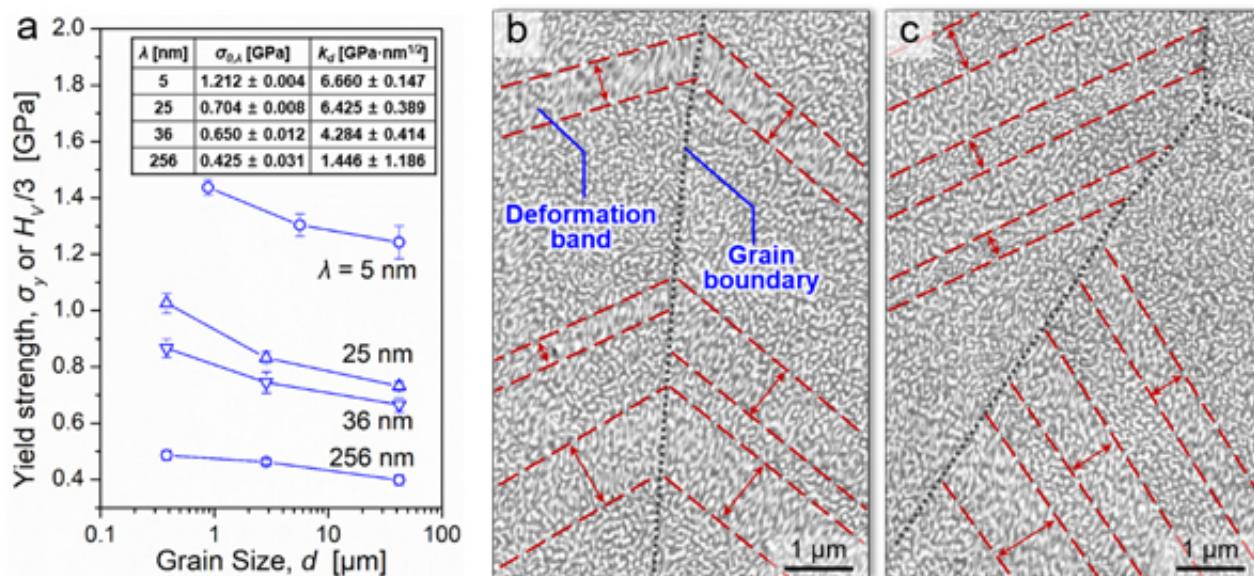


图4.仿调幅分解结构Cu/Au合金屈服强度的晶粒尺寸效应。(a) 虽然该材料晶粒尺寸 (d) 比结构尺寸 (λ) 高几个数量级, 其强度仍表现出显著的晶粒尺寸 (d) 效应。(b-c) SEM照片显示晶界对剪切带有明显的阻碍作用, 与强度的晶粒尺寸效应相一致。

研究团队单位：金属研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发