

吉林大学高压技术新突破，合成出极硬非晶碳！

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/16693.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！

吉林大学高压技术新突破，合成出极硬非晶碳！。北京时间2021年11月25日凌晨0时，吉林大学刘冰冰教授团队在国际顶级学术期刊Nature上发表了一篇题为Ultrahard bulk amorphous carbon from collapsed fullerene的新成果。

课题组采用自主发展的大腔体压机超高压关键技术，利用C60碳笼压致塌缩形成的非晶碳团簇这一新的构筑基元，探索了其在20-37 GPa压力范围内的温压反应相图，首次成功实现了毫米级近全sp³非晶碳块体材料的合成。

寻找新型碳材料一直是材料领域的前沿科学问题。作为自然界中最丰富的元素之一，碳具有多种杂化成键方式，形成的碳材料结构丰富、性质迥异，应用也极为广泛，因此，几乎每一种新碳材料的发现都引发了研究热潮。

从材料形态和原子排列的有序度分类，碳材料可分为长程有序的晶态碳以及无序的非晶碳。石墨和金刚石就是典型的碳晶体，分别由碳原子通过全sp²成键和全sp³成键形成。正是由于碳原子杂化方式不同，金刚石与柔软的石墨性质差异极大。全sp³键的金刚石不仅硬度最高，还是集高热导、宽透光频带、宽禁带等多种优异性能于一体的多功能材料，被称为工业牙齿。而非晶碳材料，目前主要是以sp²键为主形成的无定型碳，具有与石墨相似的柔软、导电等特性。然而，合成与金刚石结构、性质相对应的，由全sp³键形成的非晶碳块体材料却一直未能实现，是碳材料领域长期未能突破的科学难题。近年来，非晶材料因展现出如各向同性等不同于晶态材料的显著特点，越来越受到人们的关注。探索新型非晶材料，建立结构与物性之间的关联，是非晶材料领域的重要课题。全sp³键非晶碳块体材料的合成对非晶材料领域也具有重要意义。

高压可以有效调控碳的杂化成键方式，是合成新型碳材料的重要技术手段。人造金刚石的合成就是利用高温高压大腔体技术实现的。为了实现全sp³键非晶碳块体材料的合成，刘冰冰课题组基于对富勒烯C60高压研究的长期积累，提出了采用大腔体超高压技术，利用C60碳笼压致塌缩形成非晶碳团簇这一新的构筑基元，在更高温压区间反应合成全sp³非晶碳块体材料的研究思路。

然而商用大腔体压机的压力极限只有25万大气压，难以满足对新材料高压研究的要求。因此，突破商用大腔体压机的压力极限，发展更高温压范围的大腔体压机技术至关重要。如何解决超高压与大腔体二者技术要求的矛盾，是问题的关键所在，也是国际公认的技术难点。课题组近年来潜心攻关，首次利用国产的硬质合金压砧突破了商用Walker型大腔体压机的压力极限，发展了大腔体压机毫米级样品腔超高压产生的关键技术，在高温条件下实现了高达37万大气压的超高压（Chin. Phys. Lett. 2020, 37, 080701），并借此技术首次成功实现了毫米级近全sp³非晶碳块体材料的合成。相关重要结果如下：

1) 首次实现了近全sp³非晶碳块体材料的合成：首次给出富勒烯C₆₀在高温超高压区间（20-37 GPa）的反应相图，在苛刻的温压条件下，合成出了高质量、毫米级、透明的近全sp³非晶碳，sp³碳含量最高可达97.1%。

2) 破解了近全sp³非晶碳的结构难题：通过同步辐射技术与高分辨电镜技术结合，发现其是由具有短/中程序的四配位类金刚石sp³碳团簇形成的非晶结构。

3) 发现了近全sp³非晶碳具有优异的力、热、光学性能，创下多项非晶材料之最：近全sp³非晶碳的光学带隙高达2.7 eV；维氏硬度高达102 GPa（9.8 N载荷下），杨氏模量达到1182 GPa，可与金刚石相媲美；热导率高达26 W/mK，是目前非晶材料中发现的硬度、热导率、模量最高的材料。

4) 实现了非晶碳sp³含量与性能的精细调控：通过改变压力实现了对非晶碳中sp³含量的调控，发现了非晶碳sp³含量与光学带隙、热导率的正相关规律，获得了系列光学带隙可调（1.8 eV-2.7 eV）的非晶碳材料，比非晶硅、锗具有更大的带隙以及调控范围，为非晶材料的应用开辟了新的空间。

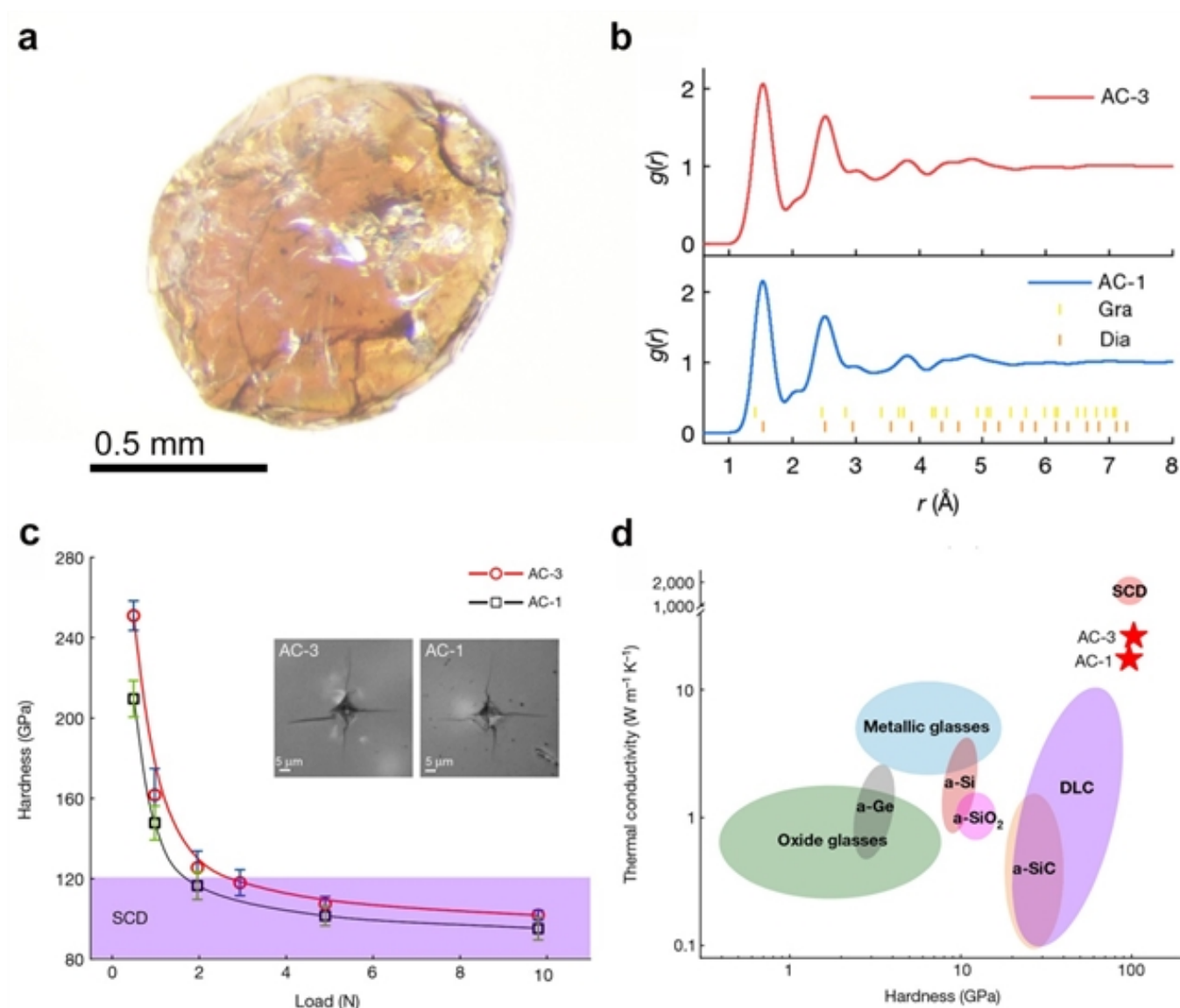


图1：a，高质量sp³非晶碳块材的光学照片；b，sp³非晶碳样品的PDF分析；c，sp³非晶碳样品的维氏硬度测量；d，sp³非晶碳样品的热导率和硬度与其他非晶材料的比较。

这些突破性成果被Nature审稿人高度评价为世界上很少有研究小组的大腔体压机技术能够达到这么高的温压条件，非晶材料领域的重大进展，为超硬材料家族添加了独特的一员，提供了新颖的物理特性表征，对凝聚态物理和化学领域都是原创且极其有趣的。值得一提的是，富勒烯C₆₀发现至今已有30多年历史，刘冰冰教授研究团队自1996年起一直从事富勒烯及相关碳材料的高压研究。经过长期努力，课题组不断为这个80后的零维碳材料注入新鲜活力。

早在2006年，课题组便取得了系列突破，获得了多种压致聚合富勒烯材料；提出了共晶与高压相结合的新思想，发现了一类由压致C₆₀塌缩形成的非晶团簇构筑的长程有序碳结构（OACC结构），是继晶体、非晶和准晶后又一全新的结构类型，与合作者发表在Science上（Science, 2012, 337, 825）。随后进一步在C₇₀等大碳笼、金属富勒烯等其他系列共晶体系中再现了这种新结构，通过调控非晶碳团簇的尺寸以及这种结构的对称性和周期，创制了一类全新碳材料（Adv. Mater., 2014, 26, 7257; Adv. Mater., 2015, 27, 3962; Adv. Mater., 2018, 30, 1706916; J. Am. Chem. Soc., 2020, 142, 7584）。正所谓十年磨一剑，砺得梅花香，该研究成果是课题组在富勒烯高压研究领域长期积累

的基础上的再次突破。

该研究成果第一完成单位为吉林大学超硬材料国家重点实验室，论文共同第一作者为尚宇琛博士、刘兆东教授、董家君博士，姚明光教授与刘冰冰教授为论文共同通讯作者。该成果是与中科院物理所汪卫华院士，瑞典于默奥大学B. Sundqvist教授，美国卡内基研究院费英伟研究员，吉林大学电子显微镜中心张伟教授，以及上海同步辐射光源的林鹤研究员等共同合作完成的。该工作得到了国家重点研发计划项目和国家基金委项目的资助。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03882-9>

作者：刘冰冰等 来源：《自然》

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](https://www.iikx.com)转发