普适性机械解理技术制备大面积二维材料研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/9770.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！

二维材料家族涵盖了绝缘体、半导体、金属和超导体，并展现出许多不同于三维材料的新奇物性，是近年来凝聚态物理和材料科学领域的研究热点。制备高质量的二维材料，特别是原子层量级的超薄材料，是开展二维材料前沿探索的基础。2004年，诺贝尔物理学奖得主Geim教授和Novoselov教授最早发展出了机械解理技术，并获得了单层石墨烯，掀起了二维材料的研究热潮。近十多年来，机械
解理技术已被广泛应用于制
备各种高质量的二维材料。石墨烯、MoS_2
以及单层高温超导材料Bi2212等诸多材料的本征物理性质，都是在机械解理的样品上观察到。在异质结和转角石墨烯等人造晶体中，机械解理的样品也同样展现出独特的优势。机械解理的样品与基底相互作用弱，制备过程相对简单，样品质量高，这些优势使得该方法在二维材料研究中获得了极大的成功。但是随着研究的深入，人们发现该方法同样存在许多不足，特别是制备效率低和样品尺寸小等问题，限制了许多先进的实验手段如扫描隧道显微镜（STM）、红外-
太赫兹光谱以及角分辨光电子能谱（ARPES）对二维材料的研究。

2015年，美国布鲁克海文国家实验室(BNL)的博士黄元和教授Peter Sutter与中国科学院院士、中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究员高鸿钧合作，利用氧气等离子体增强石墨烯和基底相互作用的新型解理方法(*ACS Nano.* 9(11), 10612 (2015))，成功获得了毫米量级的单层石墨烯和高温超导材料Bi2212，极大地提高了样品尺寸和制备效率，使得研究单层单晶石墨烯和Bi2212的更多物理性质成为可能。借助这种改进的机械解理技术，他们还成功制备出石墨烯气泡和褶皱(*Physical Review Letters,* 120, 186104 (2018); *Carbon* 156, 24 (2020)
)，并首次在石墨烯气泡中观察到具有拉曼震荡行为的牛顿环。

近期，中科院物理所研究员周兴江团队、高鸿钧团队与中国人民大学教授季威和内布拉斯加林肯大学教授Peter Sutter合作，在机械解理技术领域取得新进展。他们发展了一种金膜辅助的普适性机械解理方法，可以用于获得大尺寸超薄二维材料。季威团队结合元素周期表中不同元素的相互作用规律，系统计算了58种层状材料体系与金基底的相互作用（图1）。由于二维材料层间是范德华相互作用，而金和许多二维材料可以形成准共价键，这种相互作用远大于范德华相互作用，因此借助金作为媒介层，可以在不影响材料本征物性的前提下高效地解理出大面积的单层样品。物理所副研究员黄元等人在实验上成功实现了对40种二维材料的大面积解理，单层二维材料尺寸达到毫米量级以上（图2和图3），制备效率接近100%。该研究表明层状材料的最外层元素和基底的相互作用是影响机械解理最关键的因素，因此，针对最外层元素含有VA，VIA，VIIA主族的层状材料，可以采用金膜辅助的解理方法。

更为重要的是，这种解理方法具有良好的灵活性，可以实现多方面的调控。首先，制备过程无需连续的金膜，可以高效实现悬空样品的制备，这为研究材料的本征光学性质和输运性质提供了理想的研究体系；其次，这种方法可以实现基底导电性的调控，针对不同的实验要求，可以选择性地改变基底的导电和绝缘。针对扫描隧道显微镜(STM/STS)和角分辨光电子能谱仪(ARPES)等需要基底导电的真空表征手段，可以通过增加金膜的厚度，直接将二维材料解理到金膜上，用于研究其原子结构和能带结构（图4）。在前期的研究进展中，周兴江团队的研究员刘国东和博士赵文娟等人利用ARPES，在机械解理的大面积单层MoS_2上观察到了清晰的能带结构(*Nano Research,* 12(12): 3095 (2019))。针对荧光光谱和电输运测量，可以将金属膜的厚度控制在3 nm以下，形成绝缘的金属岛，从而获得良好的荧光信号和高开关比的场效应晶体管（图5），这也是国际上首次在超薄金属膜上获得高性能器件，打破了人们之前对于器件加工必须在常规氧化物绝缘基底上实现的认识。此外，这种方法制备过程避免了额外转移带来的污染和破坏，并且使用的金仅有几纳米，极大地节省了贵金属的消耗，为制备高质量二维材料提供了新的思路。

黄元等人利用该技术在国际上首次解理出大面积的单层FeSe, $PtTe_2$和
$PdTe_2$
等材料，为后续开展一些新材料物性的探索打下了良好的基础。该解理方法展现出了非常好的普适性，可以在透明基底、柔性基底上实现有效解理，为多种光学研究、柔性器件设计提供了新思路。

这一研究成果首次给出了针对不同层状材料的普适性解理规律，对于探索更多二维材料的新奇物理性质具有重要的推动作用，也为未来大面积晶圆级二维材料的制备和应用提供了新的可能性。相关成果发表在近期的《自然-通讯》杂志上(*Nature Communications,* 11, 2453 (2020))。该工作得到科技部重点研发计划、基金委面上项目、中科院先导计划及青促会和广东松山湖实验室的资助，以及物理所微加工实验室和N07组各位老师和同学的帮助。

图1. 不同层状材料自身层间结合能以及与金相互作用能的对比。

图2. 机械解理获得多种大面积高质量超薄二维材料。(a) 新型机械解理的步骤; (b-e) 不同基底上解理得到的大面积MoS_2; (f-g) 解理得到的多种大面积二维材料；(h-j) 异质结及悬空二维材料的拉曼光谱及荧光光谱。

图3. 解理得到的多种二维材料的光学照片。

图4. 在大面积的单层样品上获得的原子图像、低能电子衍射斑点及能带结构图。

图5.
通过控制金属膜的厚度，可以获得绝缘的金属膜，可以在器件中实现高开关比和超导特性测量。

研究团队单位：物理研究所

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转发