

[首页](#)[概况](#)[人员](#)[科学研究](#)[本科生](#)[研究生](#)[诚聘英才](#)[学工园地](#)[新闻公告](#)[系友之家](#)[资源下载](#)

《Nature》刊登南京大学物理学院团队研究成果：质子辅助生长超平整石墨烯薄膜

北京时间2020年1月9日，正值南京大学党代会召开之际，由南京大学物理学院高力波教授团队领衔，协同学院四个青年学者团队，以“质子辅助生长超平整石墨烯薄膜”（“Proton-assisted growth of ultra-flat graphene films”）为题，在《自然》杂志上发表了论文（Nature, doi: 10.1038/s41586-019-1870-3, 2020）。该成果不仅探索出了一种可控生长超平整石墨烯薄膜的方法，更为重要的是，发现了这种生长方法的内在机制，即质子辅助，该方法有望推广到新材料、新能源应用等重要研究领域。

nature

Article | Published: 08 January 2020

Proton-assisted growth of ultra-flat graphene films

Guowen Yuan, Dongjing Lin, Yong Wang, Xianlei Huang, Wang Chen, Xuedong Xie, Junyu Zong, Qian-Qian Yuan, Hang Zheng, Di Wang, Jie Xu, Shao-Chun Li, Yi Zhang, Jian Sun, Xiaoxiang Xi & Libo Gao

Nature 577, 204–208(2020) | [Cite this article](#)

文章采用化学气相沉积方法（CVD）生长石墨烯，日趋成为制备大面积、高品质单晶晶粒或者薄膜的最主要方法。然而，该方法发展迄今已逾十年，CVD方法生长的石墨烯，包括毫米尺寸单晶的石墨烯，它们的物理特性，尤其是大尺度的电学输运特性，总是逊色于胶带剥离法获得的本征石墨烯片层。究其原因，CVD石墨烯中的褶皱是影响其物性的重要瓶颈。CVD石墨烯中的褶皱，来源于石墨烯与生长基体的热胀率差异，石墨烯生长在铜或者铂等生长基体上，生长温度多在600度以上，生长完成后降至室温变引起石墨烯的褶皱。褶皱的存在，会影响石墨烯的优良特性，然而，究竟在多大程度上能够影

响其性能，并没有完整的对比数据。因此，如何彻底地消除褶皱，并制备出超平滑的石墨烯薄膜，逐渐成为其品质跨越式提升的重点和难点。

消除褶皱，在试过多种方法调控，但效果微弱后，只剩下减弱石墨烯与生长基体之间耦合作用的唯一途径。在总结大量实验结果的基础上，研究者发现，高比例的热氢气（ H_2 ），会在一定程度上，弱化石烯与生长基体之间的耦合作用。同时，研究人员通过理论模拟发现，处在石墨烯与铜基体之间的氢，在大浓度，同时处在高温的条件下，可以起到减弱二者耦合的作用。在热氢气的组分中，质子和电子，可以自由穿梭于石墨烯的蜂窝状晶格。因此，本工作中，研究人员推测了质子在穿透石墨烯后，有一定概率会再次与电子组合成氢。为此，课题组通过氢气、氘气（ D_2 ）、氦气（He）等离子体的作用效果对比，验证了所设想的模型。因此，唯有增加质子密度，则成为减弱二者耦合作用的关键途径。有鉴于此，研究团队采用氢气等离子体处理褶皱化的石墨烯薄膜，并辅以高温，可以逐步减弱并彻底消除石墨烯褶皱。如果在生长石墨烯的同时，引入氢气等离子体，则生长出来的石墨烯则为完全无褶皱（图1）。

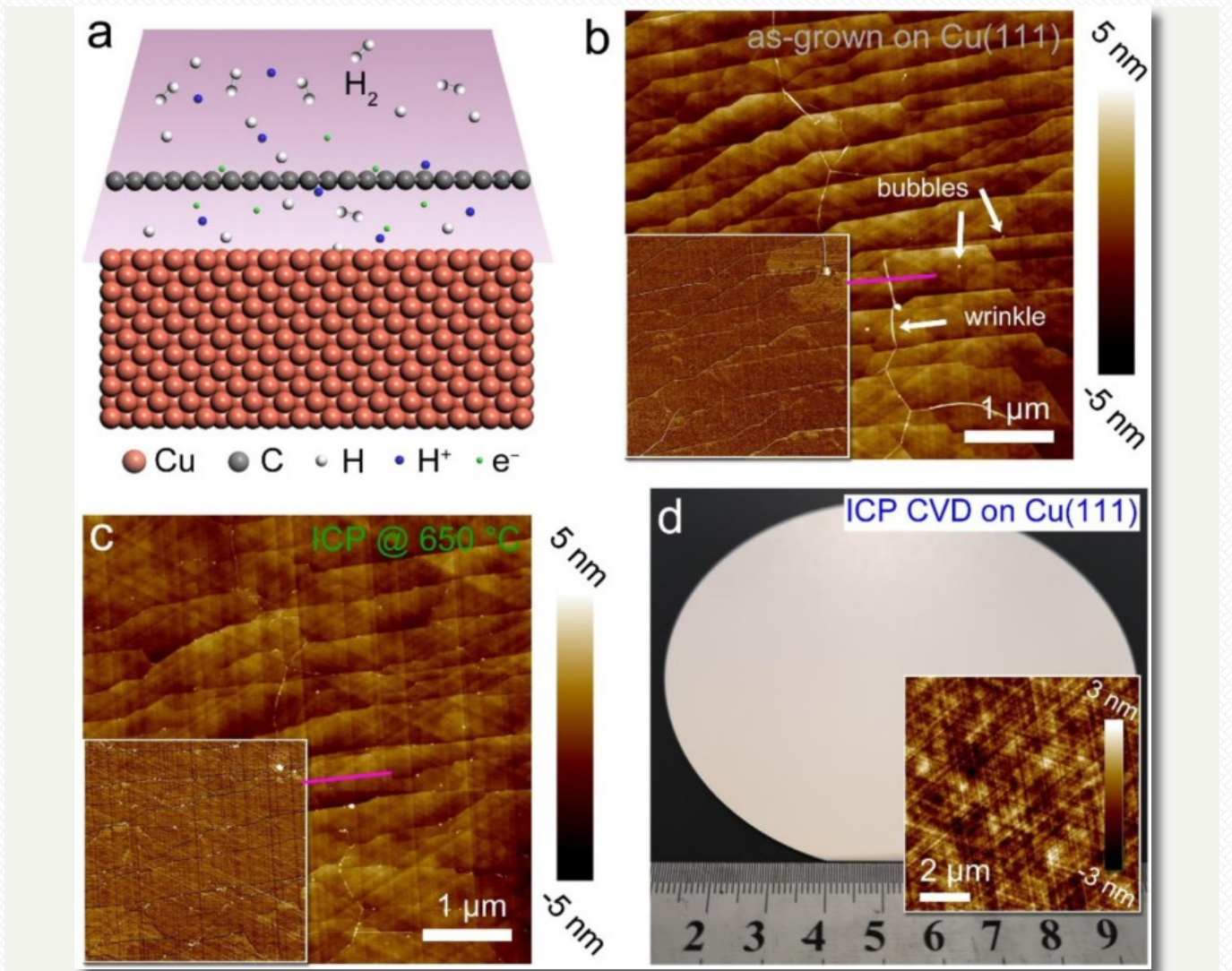


图1. (a) 质子渗透和氢去耦合模型；(b) 普通CVD方法生长的有褶皱石墨烯；(c) 氢气等离子体处理后的同位置褶皱变化；(d) 质子辅助生长的超平滑石墨烯薄膜。

为了全方位表征无褶皱化的石墨烯薄膜，通过多种物性测量，包括扫描隧道显微镜（STM）观测摩尔条纹和扫描隧道谱（STS）、角分辨光电子能谱（ARPES）直观观测石墨烯与铜基体的耦合作用变化、变温拉曼光谱表征热涨率差异等，都表明了这种超平滑的石墨烯薄膜，处于与生长基体脱耦合、无掺杂的状态。由于石墨烯薄膜的超平滑特性，因此在清除石墨烯表面其他物质，尤其是石墨烯转移过程中的转移介质PMMA残留时，表现出极易清洁的优点。为了突显超平滑石墨烯薄膜的优点，即大尺寸和高品质，研究人员进行了不同线宽下的石墨烯量子霍尔效应的测量，线宽分别为2 μm 、20 μm 、100

μm 、 $500\ \mu\text{m}$ 。此前，有碍于大尺寸石墨烯样品的均匀性，石墨烯量子霍尔效应出现的最大线宽为 $50\ \mu\text{m}$ 。而生长出来的超平整石墨烯薄膜，量子霍尔效应出现的阈值条件，和 $1\ \mu\text{m}$ 线宽时测量的本征石墨烯几乎相当。更为重要的是，对于不同线宽测量，他们的平台出现阈值几乎不变（图2）。这表明只有消除褶皱，才能在最大程度上实现了大尺寸石墨烯的均质化、高品质。

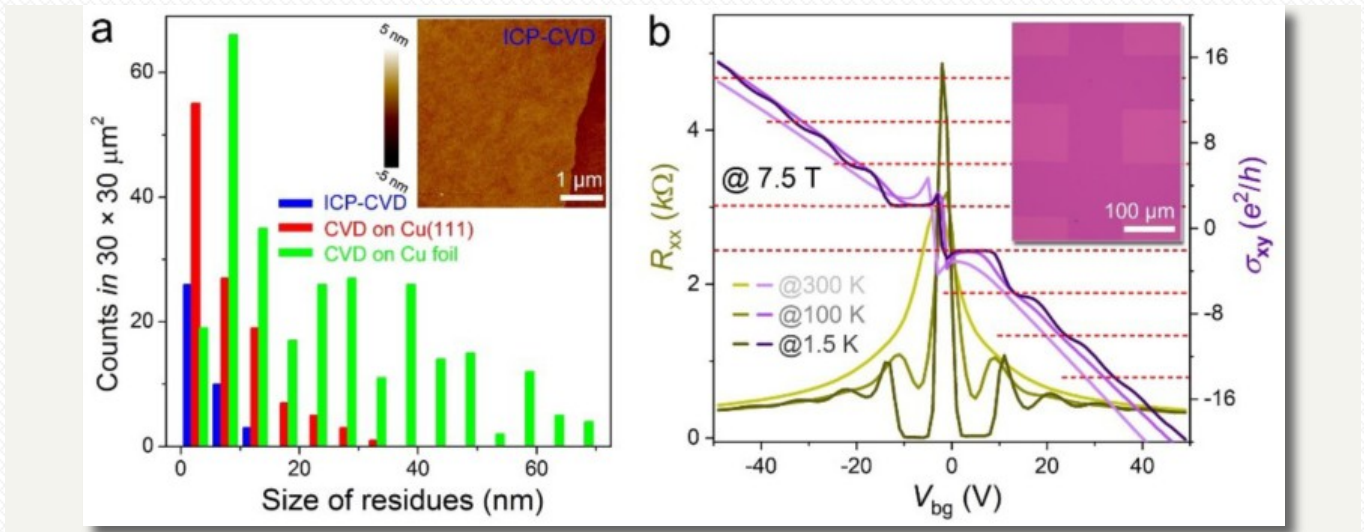
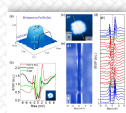


图2. (a) 超平滑石墨烯的易清洁表面； (b) $100\ \mu\text{m}$ 线宽下的石墨烯量子霍尔效应，出现的阈值与本征石墨烯相当。

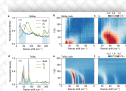
据悉，以高力波教授为代表的参与该项工作的各团队负责人均为近年来南京大学物理学院引进的青年学者。该项工作从提出构思到紧密协同完成历时数年，青年学者们本着对科学的执著追求，不计得失、群策群力，在经历了无数次失败后才收获了这一合作的果实。

南京大学物理学院17级博士生袁国文为论文的第一作者，高力波教授为通讯作者。南京大学物理学院奚啸翔教授为该工作提供了变温拉曼测量支持，孙建教授为该工作在理论上提供了氢原子的动力学模拟，张翼教授为该工作提供了ARPES测量，李绍春教授为该工作提供了STM和STS测量支持。高力波教授课题组中徐洁副研究员、研究生黄贤雷、郑航、王狄对部分实验提供了帮助，刘荣华教授在微纳米加工方面给予了帮助。该工作得到了人工微结构科学与技术协同创新中心、固体微结构物理国家重点实验室、和南京大学超算中心的支持。（物理学院 吴煜昊 科技处）



物理学院闻海虎、杨欢团队在铁基超导体上镀制的铋岛中直接观测到拓扑超导零能模

物理学院闻海虎、杨欢团队在铁基超导体上镀制的铋岛中直接观测到拓扑超导零能模 拓扑超导是目前凝...



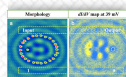
奚啸翔课题组在二维电荷密度波形成机理方面取得新进展

奚啸翔课题组在二维电荷密度波形成机理方面取得新进展 南京大学物理学院奚啸翔教授课题组与东京大...



PRX报道孙建教授课题组在高压下的新物态研究方面的最新成果

新闻报道-PRX-物理学院-20200411



Kondo free mirages in elliptical quantum corrals

Kondo-free quantum mirage 作品介绍

物理学院2020年博士生招生“申请-考核”成绩公示

06
月
11

物理学院2020年博士生招生“申请-考核”成绩公示
根据《南京大学博士研究生“申请-考核制”招生选拔工作管理办法（试行）》及《南京大学物理学院2020年博士生“申请-考核”制招生方案》，物理学院已完成2020年度博士招生的材料筛选、复试环节。现公布最终成绩，请见附件。后期录取、调档及录取通知书发放等相关事项请关注南京大学研究生院网站。

南京大学物理学院关于举办“2020年物理学全国优秀大三学生夏令营”的通知

06
月
02

南京大学物理学院关于举办“2020年物理学全国优秀大三学生夏令营”的通知 南京大学物理学科创立于1915年的南京高等师范学校（物理学系建立于1920年），是我国高等院校中创立最早的物理学科之一。百年来，追求卓越，名家辈出，为我国物理学发展作出了重要贡献，成为我国最有影响的物理学科之一。

05

2020年物理学院硕士研究生入学考试

月 拟录取名单
22 2020年物理学院硕士研究生拟录取名单

05 2020年国家建设高水平大学公派研究生项目南京大学物理学院申请联合培养名单公示
月
19 国家建设高水平大学联合培养公示

南京大学物理学院硕士研究生线上复



南京大学 物理学报
npj Quantum Materials

研究生院

本科生招生网

小百合物理版

邮件系统

就业信息网

Copyright 2014 All Rights Reserved. 南京大学物理学院版权所有 [管理]