

石墨烯应变结构的研究取得重要进展

北京师范大学物理学系何林老师的研究团队长期致力于通过晶格对称性破缺来调控石墨烯的能带结构和电学性质。近几年，他们在两种典型的具有晶格对称性破缺结构（即石墨烯应变结构和双层有转角石墨烯体系）的研究中取得了一系列重要的创新成果，在相关体系中实现了一系列新奇量子态的探测与调控。

最近，何林老师指导博士生白珂珂等人与北京大学化学学院的刘忠范/彭海琳教授指导的博士生周喻合作，在应变石墨烯的结构及其电学性质研究上又取得了重要进展。他们利用本课题组的扫描隧道显微镜（STM）对生长在 Cu 箔上的马赛克石墨烯（局域氮参杂石墨烯）进行了系统测量，发现该样品上能实现周期为几个纳米到几十纳米的准一维周期性褶皱（如图 1），这些准一维褶皱的长度大约在 400 纳米到一微米之间。根据经典薄膜理论，在石墨烯中实现周期为纳米量级的褶皱，需要将石墨烯的尺寸缩小到 10 个纳米以下。而在如此小尺寸的石墨烯上要施加一个应力使其产生周期的应变结构远远超过了当前技术的极限，这一传统认识一直制约着人们对石墨烯应变结构的进一步深入研究。

何林老师指出他们在石墨烯中实现的纳米尺度的准一维周期性褶皱超出了经典薄膜理论的描述。在经典薄膜理论中，具有一定厚度的薄膜在弯曲时存在一个中性面，中性面上的原子间距在薄膜弯曲时即不会被拉伸又不会被压缩，而中性面以外的原子在薄膜弯曲时原子间距不是被拉伸就是被压缩，从而产生一个弯曲能阻碍薄膜的进一步弯曲。但是石墨烯是一种非常特殊的薄膜体系：它只有一层原子厚。这一特性导致石墨烯弯曲时几乎没有阻力（只需要考虑最近邻碳原子 π 轨道杂化对体系能量的细微影响），因此该体系中纳米尺度的褶皱不再符合经典薄膜理论的描述，所以在实验上能实现波长仅为几个纳米但长度达到 400 纳米到一微米之间的准一维周期性褶皱（如图 1）。另外，该课题组的实验结果还表明周期性的褶皱会在石墨烯中引入一个周期性的电势，在其能带结构上产生超晶格 Dirac 点，并可以在石墨烯中打开一个 130 meV 的带隙。

这一工作中报道的纳米尺度的准一维周期性褶皱为石墨烯应变结构的研究提供了前所未有的平台，将极大地推动石墨烯应变工程（strain engineering）实

验上的发展。上述研究工作得到了国家自然科学基金、科技部 973 项目/重大研究计划、教育部新世纪人才等项目的支持，物理学系的聂家财教授对该工作的完成也提供了重要的帮助。相关结果发表在物理学国际顶级期刊《物理评论快报》上 (K.-K. Bai, Y. Zhou, H. Zheng, L. Meng, H. Peng, Z. F. Liu, J.-C. Nie, and L. He, “Creating one-dimensional nanoscale periodic ripples in a continuous mosaic graphene monolayer”. **Phys. Rev. Lett.** Vol: 113, PP. 086102 (2014)) . <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.113.086102>

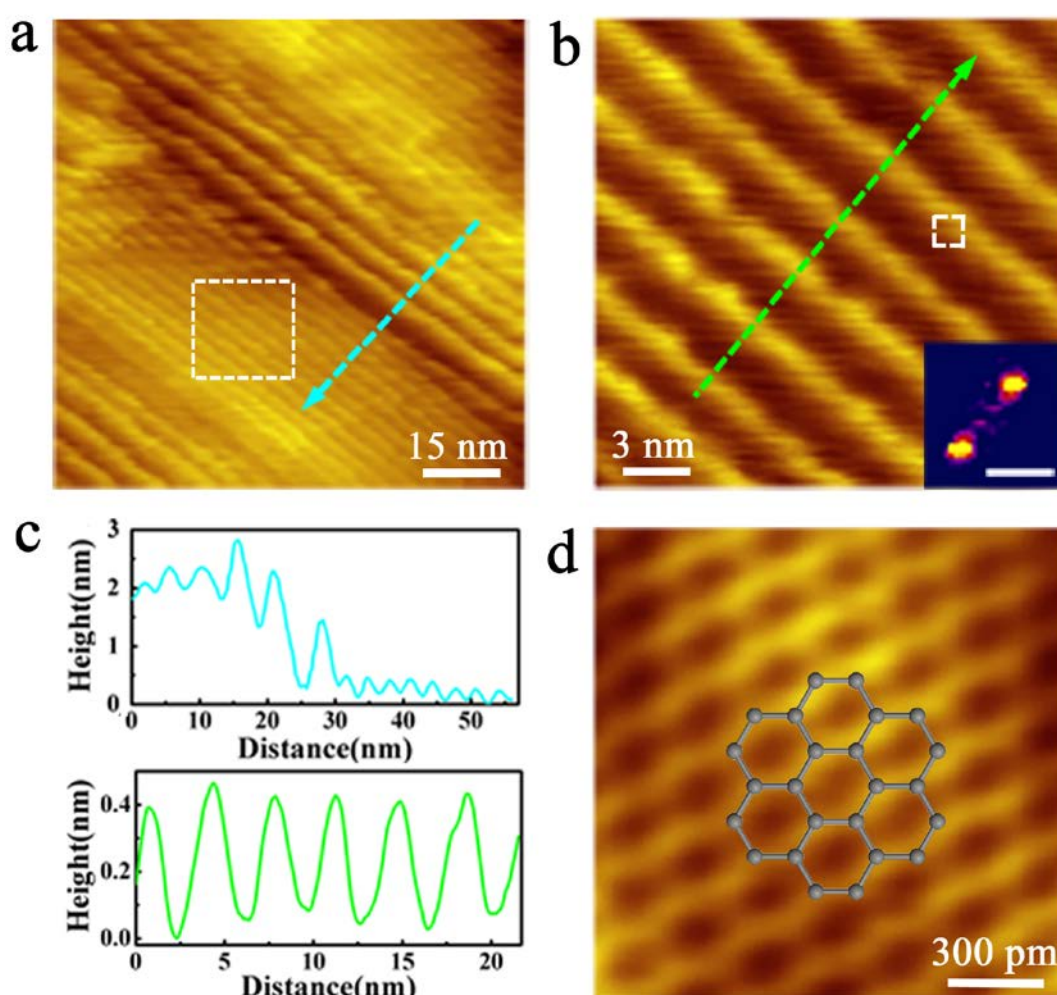


图 1: (a) Cu 薄片上生长的单层石墨烯中观察到的准一维周期性褶皱结构; (b)图是(a)中白框内的放大图, 从(b)图可以看出局部范围内这些纳米级褶皱结构的周期非常均匀, (b)中的插图是局部范围内褶皱结构的傅立叶变换; (c)图是(a)和(b)图中两根虚线处对应的扫描线; (d)图是(b)中白框内石墨烯的原子结构图。