

在石墨烯/过渡金属硫化物中观测到谷间散射引起的 稳定长程超周期电子态

六方氮化硼（h-BN）和过渡金属硫化物（TMDs）由于具有良好的绝缘性、原子级平整的表面并且不存在悬挂键，因此被广泛用作石墨烯的衬底。通常认为，这种绝缘衬底不会影响石墨烯的本征电学性质，尤其是在衬底与石墨烯之间形成的莫尔条纹很小时，二者之间往往被看作电学解耦。然而，最近何林教授课题组发现，即使石墨烯与 TMDs 衬底形成的莫尔条纹很小（石墨烯/TMD 的莫尔周期一般小于1 nm），但当二者之间有较强的耦合时，绝缘衬底仍会对石墨烯性质产生非常强烈的调制作用，在石墨烯表面形成长程的超周期电子态（图 1）。

实验上，何林教授课题组利用扫描隧道显微镜（STM）对石墨烯/TMDs 异质结进行了原子级空间分辨的电学性质表征，发现在不同转角、不同 TMD 衬底的样品中均存在长程的 $\sqrt{3} \times \sqrt{3} R30^\circ$ 电子态密度分布（周期是石墨烯晶格常数的 $\sqrt{3}$ 倍，与石墨烯晶格成 30° 转角），如图 1 所示，这种周期性分布源于石墨烯两个能谷之间的电子散射。受到相位的调制，该电子态分布在不同能量下会呈现出三种不同的实空间分布图案（图 2）。为了进一步探究 TMD 衬底对石墨烯电学性质的影响，他们通过施加 STM 针尖脉冲来局域地调控石墨烯与衬底的耦合强度[1]，发现只要二者之间的耦合较强，上述周期性电子态分布即可出现，充分揭示这种周期性电子态分布起源于 TMD 衬底与石墨烯的耦合。这一结果突破了以往对于石墨烯/二维绝缘衬底异质结的认知，发现了石墨烯电学性质对二维绝缘衬底的敏感依赖性。

相关成果近日以“Observation of robust and long-ranged superperiodicity of electronic density induced by intervalley scattering in graphene/transition metal dichalcogenide heterostructures”为题刊发在《Nano Letters》上[2]。北京师范大学的何林教授为本文通讯作者，何林教授课题组博士生张默涵为文章第一作者，博士生任雅宁、郑旗为文章的并列第一作者，博士生周啸峰也参与了该项工作。

这项工作得到了国家自然科学基金委、国家重点研发计划以及北京师范大学的经费支持。

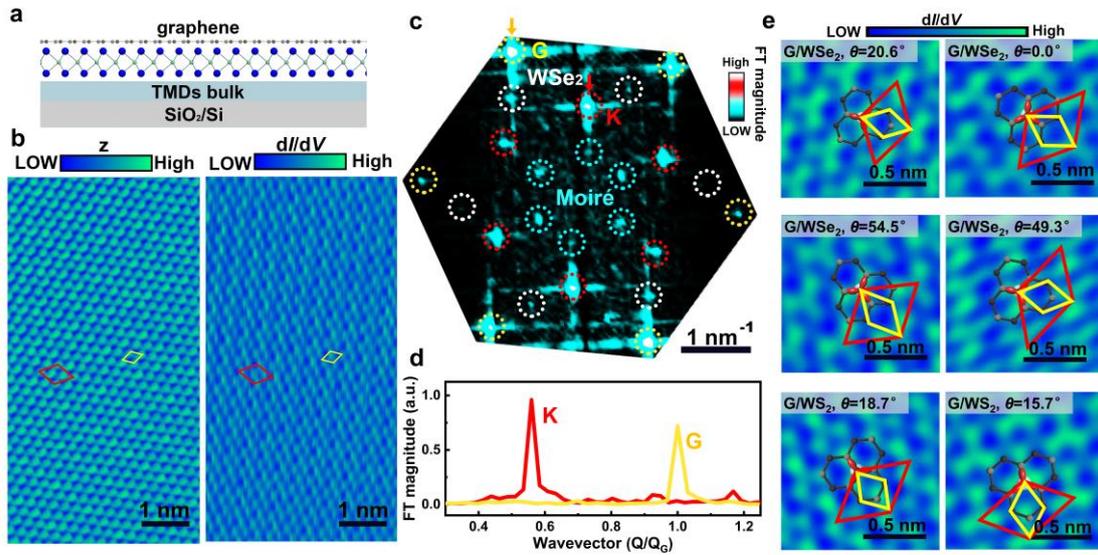


图 1. 在石墨烯和 TMDs 异质结中的长程超周期态密度。(a) 样品结构示意图；(b) 原子尺度上的形貌图（左图）和态密度分布（右图）；(c) 对图 1(b)中的态密度图进行傅里叶变换；(d) 对比超周期倒格矢与石墨烯的 Bragg 衍射峰强弱；(e) 不同转角、不同 TMD 样品上的原子尺度态密度分布图。

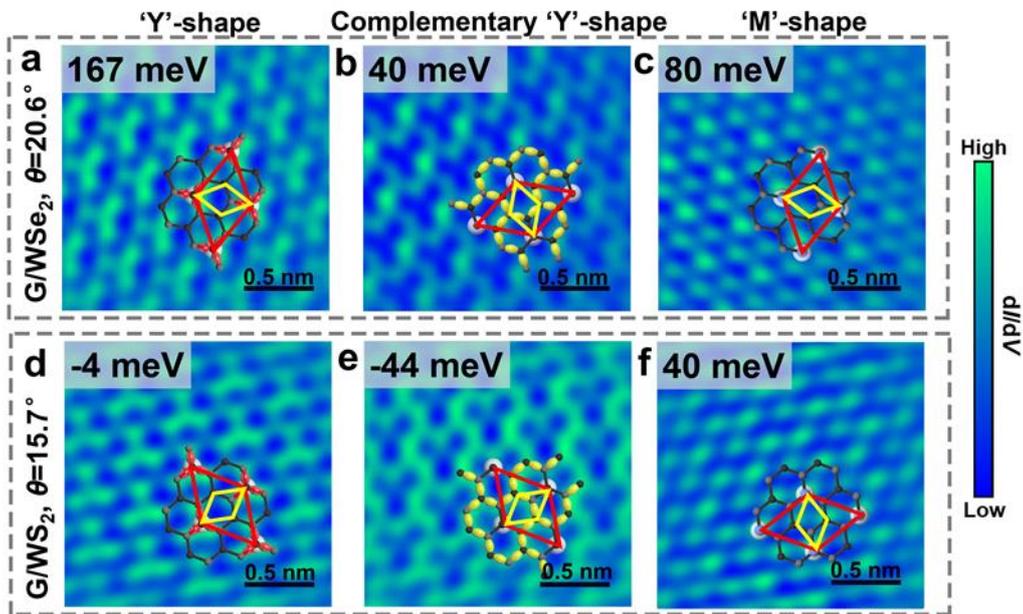


图 2 不同能量下的三种 $\sqrt{3} \times \sqrt{3} R30^\circ$ 超周期构型。(a, d) 'Y'-形电子态分布；(b, e) 互补'Y'-形电子态分布；(c, f) 'M'-形电子态分布。

- (1) Zhao, Y.-X., Zhou, X.-F., Zhang, Y. & He, L. Oscillations of the Spacing between van Hove Singularities Induced by sub-Ångstrom Fluctuations of Interlayer Spacing in Graphene Superlattices. *Physical Review Letters* **127**, 266801, (2021).
- (2) Zhang, M.-H., Ren, Y.-N., Zheng, Q., Zhou, X.-F. & He, L. Observation of Robust and Long-Ranged Superperiodicity of Electronic Density Induced by Intervalley Scattering in Graphene/Transition Metal Dichalcogenide Heterostructures. *Nano Letters* **23**, 2630-2635, (2023).

URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.2c04957>

DOI: 10.1021/acs.nanolett.2c04957