选择性外延生长大尺寸二硫化钨/二硫化钼横向和垂直异质结

孙研¹, 王琳^{2,3*}, 黄维^{1,2,3*}

1. 西北工业大学柔性电子前沿科学中心, 西安 710072;
2. 南京邮电大学有机电子与信息显示国家重点实验室, 信息材料与纳米技术研究院, 南京 210023;
3. 南京工业大学柔性电子国家重点实验室培育建设点, 先进材料研究院, 南京 211816

* 联系人, E-mail: iamlwang@njtech.edu.cn; iamwhuang@nwpu.edu.cn

Selective epitaxial growth of large WS₂/MoS₂ lateral and vertical heterostructures

Yan Sun¹, Lin Wang^{2,3*} & Wei Huang^{1,2,3*}

¹Frontiers Science Center for Flexible Electronics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

²State Key Laboratory of Organic Electronics and Information Displays & Institute of Advanced Materials, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China;

³Key Laboratory of Flexible Electronics & Institute of Advanced Materials, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China

* Corresponding authors, E-mail: iamlwang@njtech.edu.cn; iamwhuang@nwpu.edu.cn

doi: 10.1360/TB-2020-1442

过渡金属硫化物因其优异的电学、光学性能和良好的机械柔韧性引起了人们的广泛关注^[1]. 但是, 单一的材料由于能带和导电性等物理性质的局限性, 不能满足更多的器件需求^[2,3]. 因此, 二维过渡金属硫化物异质结的制备显得尤为重要. 目前制备二维异质结主要有两种方法, 一种是机械转移法, 直接将两种材料通过机械剥离和转移的方式堆叠在一起形成垂直异质结^[4]; 另一种方法是化学气相沉积法, 将不同的金属源气化沉积在基底表面反应生长横向或者垂直异质结^[5]. 由于成核位点的不可控, 很难实现横向和垂直异质结的选择性生长^[6]. 另外, 由于合金具有更高的配置熵, 在异质结界面处很容易出现金属掺杂而产生合金, 影响异质结的质量^[7]. 因此, 高质量WS₂/MoS₂横向和垂直异质结的选择性生长一直是研究的难点.

针对以上的难点, 苏州大学邹贵付课题组^[8]在*Journal of the American Chemical Society*上发表了题为“Onepot selective epitaxial growth of large WS₂/MoS₂ lateral and vertical heterostructures”的文章, 利用氢氧辅助法在不同退火温度下实现了高质量WS₂/MoS₂横向和垂直异质结的选择性生长, 其中, 横向异质结尺寸可达1 mm, 是目前报道的最大横向异质结尺寸. 通过高角环形暗场扫描透射电子显微镜(HAADF-STEM)证明了生长得到的异质结具有清

晰平整的异质结界面, 没有合金的产生. 另外, 利用飞行时间二次离子质谱仪(ToF-SIMS)和理论计算对异质结选择性生长机理进行了系统性的研究.

他们将金属Mo和W源溶解在含有大量氢氧根离子的水中, 然后旋涂在蓝宝石基底表面. 在高温退火过程中, 由于氢氧根离子吸附在单层MoS₂表面, 能够有效地阻止金属W在MoS₂表面成核生长, 促进WS₂在MoS₂的边缘外延生长并形成WS₂/MoS₂横向异质结. 退火温度达到850°C后, MoS₂表面的氢氧根离子在高温下被破坏, WS₂由于更高的扩散势垒在MoS₂表面成核, 形成WS₂/MoS₂垂直异质结. HAADF-STEM观察到WS₂/MoS₂横向和垂直异质结中原子级平整的异质界面, 没有出现金属Mo和W的相互取代, 证明异质结具有很高的质量. 同时, 选区电子衍射图证明了两种异质结材料的外延生长. 另外, 他们通过ToF-SIMS直接观察到WS₂/MoS₂水平异质结中的MoS₂表面吸附的大量氢氧根离子(图1), 而在WS₂/MoS₂垂直异质结中的MoS₂表面没有观察到氢氧根离子的存在. 研究结果证明氢氧根离子对于异质结选择性生长具有关键作用. 将得到的单层MoS₂-OH和两种结构的异质结制备了半导体场效应管, 其中WS₂/MoS₂水平异质结具有最高的载流子迁移率(58 cm² V⁻¹ s⁻¹)和开关比(10⁸), 进一步证明了该方

图1 (网络版彩色)WS₂/MoS₂横向和垂直异质结的结构示意图(a)以及两种异质结中MoS₂的ToF-SIMS图(b, c)

Figure 1 (Color online) Atomic structures (a) and ToF-SIMS depth profile (b, c) of the lateral and vertical WS₂/MoS₂ heterostructures

法生长得到高质量的异质结。

邹贵付课题组通过氢氧根离子辅助法实现了大面积高质量的WS₂/MoS₂横向和垂直异质结的选择性生长，生

长得到的异质结具有清晰平整的异质界面，具有优异的电学性能。这种原子级厚度的高质量二维异质结材料在微型光电子器件领域具有巨大的应用潜力。

参考文献

- 1 Wang Z, Jingjing Q, Wang X, et al. Two-dimensional light-emitting materials: Preparation, properties and applications. *Chem Soc Rev*, 2018, 47: 6128–6174
- 2 Zhang Z, Chen P, Duan X, et al. Robust epitaxial growth of two-dimensional heterostructures, multiheterostructures, and superlattices. *Science*, 2017, 357: 788–792
- 3 Sun Y, Zhou Z, Huang Z, et al. Band structure engineering of interfacial semiconductors based on atomically thin lead iodide crystals. *Adv Mater*, 2019, 31: 1806562
- 4 Kang D H, Pae S R, Shim J, et al. An ultrahigh-performance photodetector based on a perovskite-transition-metal-dichalcogenide hybrid structure. *Adv Mater*, 2016, 28: 7799–7806
- 5 Gong Y, Lin J, Wang X, et al. Vertical and in-plane heterostructures from WS₂/MoS₂ monolayers. *Nat Mater*, 2014, 13: 1135–1142
- 6 Zhou J, Tang B, Lin J, et al. Morphology engineering in monolayer MoS₂-WS₂ lateral heterostructures. *Adv Funct Mater*, 2018, 28: 1801568
- 7 Zhang Q, Xiao X, Zhao R, et al. Two-dimensional layered heterostructures synthesized from core-shell nanowires. *Angew Chem Int Ed*, 2015, 127: 9085–9088
- 8 Zhu J, Li W, Huang R, et al. One-pot selective epitaxial growth of large WS₂/MoS₂ lateral and vertical heterostructures. *J Am Chem Soc*, 2020, 142: 16276–16248