

二次元結晶ファンデルワールス集積技術の構築と物性・応用

Physics and application of van der Waals junctions of 2D materials

東大生研¹, CREST-JST², 物材機構³

○町田 友樹^{1,2}, 守谷 頼¹, 増渕 寛¹, 張 奕勁¹, 小野寺 桃子¹, 瀬尾 優太¹,

若藤 祐斉¹, 朴 士彬¹, 竹山 慶¹, 渡邊 瑛介¹, 渡邊 賢司³, 谷口 尚³

IIS, Univ. of Tokyo¹, CREST-JST², NIMS³

○Tomoki Machida^{1,2}, Rai Moriya¹, Satoru Masubuchi¹, Yijin Zhang¹, Momoko Onodera¹, Yuta Seo¹,
Yusai Wakafuji¹, Park Sabin¹, Kei Takeyama¹, Eisuka Watanabe³, Kenji Watanabe⁴, Takashi Taniguchi⁴

E-mail: tmachida@iis.u-tokyo.ac.jp

ファンデルワールス接合では、①界面において格子整合の制約がなく、②原子レベルで平坦な理想的界面が実現し、③構成要素となる二次元結晶の選択肢が極めて広く、④層間の捻り角度によりバンド構造が制御できる。既存の材料系では得られない物性が発現する可能性があり、基礎・応用の両面で幅広い可能性を秘めている。例えば、グラフェン/h-BN では極めて高いキャリア移動度が得られ、バリスティック伝導やディラックフェルミオン光学素子を実現できる。WS₂/h-BN では励起子-励起子再結合の抑制など光学特性も向上する。強磁性二次元結晶や超伝導二次元結晶をファンデルワールス積層するだけで、磁気トンネル接合やジョセフソン接合が実現される。

そして現在、異なる二次元物質を接合することにより、単体では全く考えられなかった性質が出現する例が明らかになりつつある。例えば、グラフェンとグラフェンを魔法角(≈1.1 度)と呼ばれる特定のツイスト角度で積層することで超伝導が発現する。二次元物質同士の相互作用を積極的に使うことで、現在の三次元物質科学の限界を超えたブレイクスルーをもたらす可能性がある。さらに同一面内で原子層をつなぐ二次元ヘテロ接合やフォトリソニック結晶やホイスラー合金電極など平坦ではない素子への原子層転写も可能になり、二次元物質の多様性に加えてこれらの構造自由度によって組み合わせの選択肢が無限に存在する。「二次元物質の多様さ」×「ファンデルワールス集積技術」の組み合わせにより無限の組み合わせの構造が得られ、新たな学理創出の理想的な舞台であるとともに、その豊富な設計自由度から、三次元物質科学ではなしえなかった革新的な物質材料を実現する可能性を持つ。

我々のグループでは、グラフェン、遷移金属カルコゲナイド MoS₂, MoSe₂, WS₂, WSe₂, WTe₂、絶縁体 h-BN、超伝導体 NbSe₂、強磁性金属 FeTaS₂, CrTaS₂、窒素系層状物質 ReN₂ 等、様々な二次元結晶およびそれらのファンデルワールス接合を作製して量子輸送現象の研究を進めるとともに、ファンデルワールス接合作製技術を構築してきた。本講演では最新の実験結果を中心に報告する。

- [1] S. Masubuchi *et al.*, Nature Communications **9**, 1413 (2018); npj 2D Materials and Applications **3**, 4 (2019).
- [2] K. Kinoshita *et al.*, Appl. Phys. Lett. **113**, 103102 (2018); Appl. Phys. Lett. **115**, 153102 (2019); npj 2D Materials and Applications **3**, 22 (2019).
- [3] M. Onodera *et al.*, Nano Letters **19**, 7282 (2019); Nano Letters **19**, 8097 (2019); APL Materials **7**, 101103 (2019); Nano Letters **20**, 735 (2020); Jpn. J. Appl. Phys. **59**, 010101 (2020).
- [4] Y. Wakafuji *et al.*, Appl. Phys. Lett. **115**, 143101 (2019).
- [5] R. Moriya *et al.*, Phys. Rev. B **101** (2020).