

原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能」研究領域
2020 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書

町田友樹

東京大学 生産技術研究所
教授

原子層のファンデルワールス自在配列とツイスト角度制御による物性の創発

§ 1. 研究成果の概要

本 CREST プロジェクトでは、ファンデルワールス複合原子層の作製・バンド構造決定・物性観測を高効率に行うシステムを構築し、原子層の配列や配向を自在に制御した複合原子層の物性を発現することを目的としている。具体的には、①ツイスト角度を精密に制御して様々な twisted 2D materials multilayer を自在に配列する技術を構築し、②レーザー角度分解光電子分光 (ARPES) 技術とファンデルワールス (vdW) assembly 技術を組み合わせてバンド構造を直接的に決定、③量子輸送や光応答などの測定技術を駆使して量子物性を明らかにすることを目指している。今年度 (2021.4-2022.3) は主に、以下の研究を推進した。

①複合原子層のハイスループット作製・評価システム構築に関して、結晶のテープ剥離工程のロボティック化、積層システムにおける積層角度の精度向上、ARPES 測定用素子作製のための原子層 pick-and-flip 手法を立ち上げた。

②顕微レーザー角度分解光電子分光によるバンド構造の決定に関して、 WTe_2 および MoTe_2 に対してバンド構造の観測に成功し、系統的な層数依存性を明らかにした。

③ツイスト原子層超格子における物性の発現と制御に関して、(a)欠陥アシスト共鳴トンネルを利用したツイスト二層グラフェン超格子の状態密度観測、(b)コヒーレント共鳴トンネルを利用した三層グラフェンのバンド分散決定、(c) WSe_2 のサブバンド準位への共鳴トンネル効果の観測、(d) $\text{WTe}_2 + \text{WTe}_2$ における ARPES 測定および SHG (第二次高調波発生) 測定によるバンド構造と対称性の決定、(e) CuInP_2S_6 におけるバルク光起電力効果の観測を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) 町田グループ

- ① 研究代表者: 町田 友樹 (東京大学生産技術研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・ハイスループット複合原子層作製・評価システムの構築
 - ・ツイスト原子層超格子における物性の発現と制御

(2) 石坂グループ

- ① 主たる共同研究者: 石坂 香子 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノ顕微レーザー光電子分光の開発と複雑積層構造の電子状態計測

【代表的な原著論文情報】

- 1) "Subband-resolved momentum-conserved resonant tunneling in monolayer graphene/h-BN/ABA-trilayer graphene small-twist-angle tunneling device", Yuta Seo, Satoru Masubuchi, Momoko Onodera, Yijin Zhang, Rai Moriya, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Tomoki Machida, Appl. Phys. Lett. **120**, 083102-1-6 (2022).
- 2) "Switchable out-of-plane shift current in ferroelectric two-dimensional material CuInP₂S₆", Yijin Zhang, Rei Taniguchi, Satoru Masubuchi, Rai Moriya, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Takao Sasagawa, Tomoki Machida, Appl. Phys. Lett. **120**, 013103-1-5 (2022).
- 3) "Probing many-body interactions in the cyclotron resonance of h-BN/bilayer graphene/h-BN", Rai Moriya, Sabin Park, Satoru Masubuchi, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Tomoki Machida, Phys. Rev. B **104**, 245137-1-7 (2021).
- 4) "Resonant tunneling due to van der Waals quantum-well states of few-layer WSe₂ in WSe₂/h-BN/p⁺-MoS₂ Junction", Kei Takeyama, Rai Moriya, Shota Okazaki, Yijin Zhang, Satoru Masubuchi, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Takao Sasagawa, and Tomoki Machida, Nano Letters **21**, 3929-3934 (2021).