

2024 年度年次報告書

原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能

2020 年度採択研究代表者

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

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)

笹川 崇男 (東京科学大学 総合研究院 准教授)

研究成果の概要

ツイスト複合原子層における物性の発現と制御に向けた研究を推進した。今年度は特にモアレ構造の実空間観測を活用しながら研究を推進した。具体的には、単原子層 WTe_2 同士をツイスト角度 58° および 62° でファンデルワールス接合したツイスト二層 WTe_2 に対して、透過型電子線顕微鏡 (TEM) 観察により1次元的なモアレ構造を観測した。理論的な解析を加えることにより、この系が pure 1D system になることを実証した。通常モアレ超格子は small twist angle で観測されるが、今回の発見は 60° 近傍という非常に大きなツイスト角度における特異なモアレ構造である。さらに、ファンデルワールス複合原子層を用いて、巨大なピーク・バレー電流比 (> 60) の負性微分抵抗を示す共鳴トンネル素子を実現した。複数層 WSe_2 のサブバンドを利用する二重量子井戸構造を作製して、共鳴トンネル効果を観測した。電流-電圧特性に顕著な負性微分抵抗 (NDR) 特性が現れた。NDR デバイスの重要な性能評価指標としてピーク・バレー電流比 (PVR) があり、PVR が大きいほど性能が高いと言える。原子層の組み合わせ最適化により、 $\text{PVR} = 64$ を達成した。二次元結晶およびファンデルワールス接合を利用したサブバンドエレクトロニクスおよびオプトエレクトロニクス分野の基盤となる成果であり波及効果が大きい。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Intrinsic One-Dimensional Moiré Superlattice in Large-Angle Twisted Bilayer WTe_2 ”, X. Yang, Y. Zhang, L. Chen, K. Aso, W. Yamamori, R. Moriya, K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Sasagawa, N. Nakatsuji, M. Koshino, Y. Yamada-Takamura, Y. Oshima, and T. Machida, ACS Nano **19**, 13007 (2025). <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c17317>
- 2) “Negative Differential Resistance Device with High Peak-to-Valley Ratio Realized by Subband Resonant Tunneling of Γ -Valley Carriers in $\text{WSe}_2/\text{h-BN}/\text{WSe}_2$ Junctions”, K. Kinoshita, R. Moriya, S. Kawasaki, S. Okazaki, M. Onodera, Y. Zhang, K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Sasagawa, and T. Machida, ACS Nano **18**, 28968 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c09569>
- 3) “Spectrum of Tunneling Transport through Phonon-Coupled Defect States in a Carbon-Doped Hexagonal Boron Nitride Barrier”, Y. Seo, Y. Tsuji, M. Onodera, R. Moriya, Y. Zhang, K. Watanabe, T. Taniguchi, and T. Machida, Nano Lett. **24**, 13733 (2024). <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c03847>
- 4) “Control of Subband Energies via Interlayer Twisting in an Artificially Stacked WSe_2 Bilayer”, K. Kinoshita, R. Moriya, S. Okazaki, M. Onodera, Y. Zhang, K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Sasagawa, and T. Machida, Nano Lett. **24**, 12211 (2024). <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c03289>
- 5) “Crossover between rigid and reconstructed moiré lattice in h-BN-encapsulated twisted bilayer WSe_2 with different twist angles”, K. Kinoshita, Y. Lin, R. Moriya, S. Okazaki, M. Onodera, Y. Zhang, R. Senga, K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Sasagawa, K. Suenaga, and T. Machida, Nanoscale **16**, 14358 (2024). <https://doi.org/10.1039/D4NR01863J>