

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

丸山 茂夫

東京大学 大学院工学系研究科
教授

単層 CNT に基づく一次元ヘテロナノ構造の制御合成と物性・機能設計

主たる共同研究者:

井ノ上 泰輝 (大阪大学 大学院工学研究科 助教)

末永 和知 (大阪大学 産業科学研究所 教授)

研究成果の概要

本年度は、SWCNT@BNNT 一次元ヘテロ構造をテンプレートとして、MoS₂ナノチューブを成長させた後、H₂プラズマによるセレン化処理により Janus 型 MoSSe ナノチューブを形成する手法を確立した。ラマン分光および高分解能電子顕微鏡により、選択的な S/Se 置換と三重同軸構造の形成を確認した。外層の均一な被覆や Janus 構造特有の振動モードの観測から、高い構造制御性と変換効率が実証された。一次元テンプレートを活用した異種原子配列の精密制御が可能であることを示し、カイラリティに依存した物性開拓やナノデバイスへの応用に向けた重要な基盤技術となる。

末永 G では、電子顕微鏡および電子分光を組み合わせたナノスケール物質の構造解析技術を進展させ、他グループが合成する様々な1次元構造体の原子レベル構造解析を行なっている。本年度は、主力となる電子顕微鏡の検出器アップデートが行われ、多元素からなるヘテロ構造の高分解能分析技術がさらに向上した。またレーザー光を利用した電子顕微鏡内部での反応実験も順調に進んでいる。丸山 G が合成した Janus 構造に対し、EELS や EDX の信号を用いて多元素マップを取得することで、Janus 構造に対応する化学組成比が得られた。また高分解能 EELS を用いてヘテロ構造の吸収スペクトルから、層間の電荷移動なども示唆されている。

井ノ上 G では、BNNT を外層に含む 1 次元ヘテロナノ構造の電気特性の分析のために、外層の BNNT の部分的除去を実施した。基板上に CNT@BNNT ヘテロナノ構造を得た後、BNNT の除去のための 2 手法を試みた。1 つ目の手法として、プラズマエッチングによる選択的な BNNT 除去を確立した。第二の手法として、金属と BNNT の高温下における溶解反応を活用し、BNNT を溶解できることを見出した。いずれにおいても、CNT@BNNT から部分的に BNNT を除去して CNT に接触させた 2 端子電極間に流れる電流に関して、CNT の場合と同等程度の値が達成され、BNNT の除去が確認された。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yang, C.; Lin, Q.; Sato, Y.; Gao, Y.; Zheng, Y.; Wang, T.; Ma, Y.; Dai, W.; Li, W.; Maruyama, M.; Okada, S.; Suenaga, K.; Maruyama, S.; Xiang, R. Janus MoSSe Nanotubes on 1D SWCNT-BNNT van Der Waals Heterostructure. *Small* **2025**, 2412454, 1–9. <https://doi.org/10.1002/sml.202412454>.