

原子・分子の自在配列と特性・機能
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

菅原 克明

東北大学 大学院理学研究科
准教授

MBE・原子置換・パターニングを融合した新原子層材料の創製

研究成果の概要

本さきがけ研究では、従来の原子層材料の骨格を維持したまま異なる原子を導入する原子置換法や材料の直接加工が可能なパターンニング法によって、原子・構造・空間の 3 つを制御した新規遷移金属カルコゲナイド(TMCs)原子層を実現し、その電子特性を spin-ARPES および第一原理計算を用いて明らかにすることで、従来の材料では達し得ない特性を発揮する革新的原子層材料を開発する。

本年度は、原子置換装置を用いた本格的な新原子層材料の作製を推進した。具体的には、原子層 WTe_2 や昨年度から進めている原子層 NbTe_2 を原子置換した原子層 NbS_2 、本年度から開始した原子層 TiTe_2 から原子置換した原子層 TiS_2 等である。これらの材料に対してマイクロ ARPES を用いた電子状態評価および STM 実験による電荷分布評価を行った結果、多彩な物性を示すことがわかった。例えば 1T 構造を持つ NbTe_2 原子層では、新たな配列構造を持つダビデの星構造を、一方の S 置換した NbS_2 はダビデの星構造が消滅し 1H 構造へ構造相転移することを見出した。また、原子層 WTe_2 では成長温度による構造制御、 TiTe_2 原子層および TiS_2 原子層に関しては、原子置換による電荷密度波制御に成功した。

現在開発を進めている真空ガルバノスキャナレーザ装置は、試料照射時のレーザー径が 0.7 μm 程度とさらなる微小化に成功した。しかし、真空装置内には酸素などが存在しないため、酸化還元反応が進まず、試料加工が進まないことが判明した。現在、加工時における真空度の調整によって、直接加工が可能か検討を行っている。

本年度は、2 層 TMCs 層間化合物を作製するためのアルカリ金属蒸着源の製作も行った。その動作確認のために、電荷密度波を示す原子層 TiTe_2 表面にアルカリ金属蒸着を行った結果、電子キャリア注入のみならず、電荷密度波相転移の自在制御にも成功した。今後、2 層 TMCs 層間化合物の作製を進め、界面・層間超伝導などの特異物性解明を進める。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Direct imaging of band structure for powdered rhombohedral BS by micro-focused ARPES”, [Katsuaki Sugawara](#), Haruki Kusaka, Tappei Kawakami, Koki Yanagizawa, Asuka Honma, Seigo Souma, Kosuke Nakayama, Masashi Miyakawa, Takashi Taniguchi, Miho Kitamura, Koji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Takashi Takahashi, Shin-ichi Orimo, Masayuki Toyoda, Susumu Saito, Takahiro Kondo, and Takafumi Sato, *Nano Letters* 23, 1673-1679 (2023).
- 2) “Charge order with unusual star-of-David lattice in monolayer NbTe_2 ”, Taiki Taguchi, [Katsuaki Sugawara](#), Hirofumi Oka, Tappei Kawakami, Yasuaki Saruta, Takemi Kato, Kosuke Nakayama, Seigo Souma, Takashi Takahashi, Tomoteru Fukumura, and Takafumi Sato, *Physical Review B*, 107, L041105-1-6 (2023) Editors’ Suggestion.