

原子・分子の自在配列と特性・機能  
2020 年度採択研究者

2021 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・パターンニングを融合した新原子層材料の創製

## § 1. 研究成果の概要

本さがけ研究では、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ものである。

本年度は、上記達成目標を実現するための原子置換装置と真空中でレーザ局所加熱による材料の直接パターニング加工が可能な真空ガルバノスキャンレーザ装置の改良・整備を行った。原子置換装置に関しては、建設中の真空ガルバノスキャンレーザ装置に原子置換装置を行った。さらに、初年度において試験的に行った VTe<sub>2</sub> 原子層の Te 原子を S 原子に置換した VS<sub>2</sub> 原子層材料の作製を改めて行い、均一な VS<sub>2</sub> 原子層の作製を実現するとともに、マイクロ ARPES および STM の実験によって新たな CDW 相を発現していることを明らかにした。また、NbTe<sub>2</sub> 原子層材料の作製および Te から S 原子への原子置換による NbS<sub>2</sub> 原子層材料の合成も進めている。以上の結果は本さがけ研究において提案した原子置換法が S 原子を基本とした TMCs 材料合成に有効であることを示している。さらに、NbSe<sub>2</sub> 原子層や TaSe<sub>2</sub> において強固なモット絶縁相の存在などの物性解明に成功した。

真空ガルバノスキャンレーザ装置に関しては、初年度において加工時における試料照射時のレーザ径が 10μm 程度のサイズであった径が 1μm 程度に微小化に成功するなど、着々とレーザ加工の調整を進めることができている。来年度はさらなる微小化に取り組む。また、新たな試みとして、材料加工後および原子置換後の材料評価を行うために、分光器の製作・調整を行うことで、ラマン分光や発光分光などもレーザ加工装置で同時に行える装置改良も行った。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Kawakami, K. Sugawara, T. Kato, T. Taguchi, S. Souma, T. Takahashi, and T. Sato, “Electronic States of Multilayer VTe<sub>2</sub>: Quasi-One-Dimensional Fermi Surface and Implications for Charge-Density Wave”, *Physical Review B*, 104, 045136 (2021).
- 2) Y. Nakata, K. Sugawara, A. Chainani, H. Oka, C. Bao, S. H. Zhou, P.-Y. Chuang, C.-M. Cheng, T. Kawakami, Y. Saruta, T. Fukumura, S. Y. Zhou, T. Takahashi, and T. Sato, “Robust charge-density wave strengthened by electron correlations in in monolayer 1T-TaSe<sub>2</sub> and 1T-NbSe”, *Nature Communications*, 12, 5873 (2021).
- 3) M. Kitamura, S. Souma, A. Honma, D. Wakabayashi, H. Tanaka, A. Toyoshima, K. Amemiya, T. Kawakami, K. Sugawara, K. Nakayama, K. Yoshimatsu, H. Kumigashira, T. Sato, and K. Horiba, “Development of a versatile micro-focused ARPES system with Kirkpatrick-Baez mirror optics”, *Review of Scientific Instruments*, 93, 033906 (2022).