

2023 年度年次報告書

原子・分子の自在配列と特性・機能

2021 年度採択研究代表者

関 岳人

東京大学 大学院工学系研究科

講師

超低電子ドーズ STEM 法の開発と実空間原子・分子配列構造解析

研究成果の概要

本研究は、分割型検出器を搭載した走査透過電子顕微鏡(STEM)を用いて、電子線で容易に試料構造が損傷する電子線敏感材料中の分子・原子配列を可視化する技術を開発し、実際の試料観察へと応用し自在配列材料の設計指針へとフィードバックすることを目的としている。昨年度までに、開発した最適明視野(Optimum Bright Field: OBF) STEM法のライブイメージング機能を用いて、代表的な電子線敏感材料であるゼオライトの観察を行い、ケイ素と酸素の全原子サイトの直接観察に成功した。また直接観察に基づき、双晶界面と呼ばれる欠陥構造の原子構造を初めて明らかにした。

本年度は、ピクセル型検出器を用いた OBF STEM について、データ取得時の収差と試料傾斜の情報を抽出する手法を開発した。抽出した情報は原子像の再構成時に考慮することで、より明瞭な像を生成すること可能な他、電子顕微鏡へフィードバックすることで、自動収差補正・自動試料傾斜調整の開発を期待できる。また、二次元物質を観察する際に問題となる色収差の影響についてシミュレーションで系統的に検討を行った。大きい色収差を持つ顕微鏡の場合には、像の信号ノイズ比を低減させることが明らかとなったが、OBF 像の再構成時に色収差の影響を考慮することで、信号ノイズ比の低減を一定程度抑制する手法を開発した。今後、二次元物質の観察実験を通して開発手法の有効性を検証していく。研究開始時より設計していた、分割型検出器の分割形状を最適化し、検出感度を向上させた新しい検出器が完成した。今後、検出効率の改善や、OBF 像の像質改善などの効果を検証していくとともに、電子線敏感材料観察の原子分解能観察をすすめていく。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Koudai Tabata, Takehito Seki, Scott D. Findlay, Ryo Ishikawa, Ryuji Tamura, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, “Direct Imaging of Atomic Rattling Motion in a Clathrate Compound”, *Small Science*, 4, 2300254 (2024).
- 2) Yuji Kohno, Takehito Seki, Shun Tsuruoka, Shinobu Ohya, and Naoya Shibata, “Magnetic field observation in a magnetic tunnel junction by scanning transmission electron microscopy”, *Microscopy*, in press.
- 3) Takehito Seki, Toshihiro Futazuka, Nobusato Morishige, Ryo Matsubara, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, “Incommensurate grain-boundary atomic structure”, *Nature Communications*, 14, 7806 (2023).
- 4) Takehito Seki, Masaya Takamoto, Masayuki Ishihara, Haruhito Ishio, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, “In-situ observation of magnetic domain structures in nanocrystalline soft magnetic materials by differential-phase-contrast scanning transmission electron microscopy”, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 131, 767-770 (2023).
- 5) Kousuke Ooe, Takehito Seki, Kaname Yoshida, Yuji Kohno, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, “Direct imaging of local atomic structures in zeolite using optimum bright-field scanning transmission electron microscopy” *Science Advances*, 9, adf6865 (2023).