

原子・分子の自在配列と特性・機能
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

関 岳人

東京大学 大学院工学系研究科
助教

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、分割型検出器を用いて同時取得された STEM 像から理論的に最も高い信号ノイズ比(SN比)を得る再構成方法を確立し、さらに STEM の電子線走査と同期して実時間で再構成するプログラムを開発し電子顕微鏡の操作システムに実装を行った。本結像手法は最適明視野(optimum bright field: OBF)法と命名し、複雑な像再構成方法を意識することなく、従来の STME 法と同様に原子配列の観察、像取得が可能となった。本システムは電子顕微鏡メーカーから商品化され、すでに販売が始まっている。

本年度は、開発した実時間 OBF 再構成システムを用いて、代表的な電子線敏感材料であるゼオライトの観察を試みた。ゼオライトはナノメートルサイズの細孔を有する多孔質材料であり、分子ふるい、イオン交換、吸着、触媒などの機能を有する。その骨格構造はケイ素と酸素によって構成されるが、構造が電子線により容易に破壊されてしまうため、これまでの観察手法では全原子配列を可視化することはできていなかった。FAU 型ゼオライトの OBF 法で観察を行ったところ、ケイ素と酸素の全原子配列を可視化することに成功した。また、FAU 型ゼオライト中に存在する双晶界面における局所原子配列の可視化にも成功し、界面直上の局所的な原子配列の対称性はバルク中とは異なっていることを明らかにした。今後、ゼオライトの機能発現の場を直接可視化していくことで、ゼオライトの効率的な開発が可能になると期待される。また、他の電子線敏感材料への応用を進めていく。

【代表的な原著論文情報】

- 1) "Real-space observation of a two-dimensional electron gas at semiconductor heterointerfaces", Satoko Toyama, Takehito Seki, Yuya Kanitani, Yoshihiro Kudo, Shigetaka Tomiya, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, *Nature Nanotechnology* 18 (2023) 521-528.
- 2) "Linear imaging theory for differential phase contrast and other phase imaging modes in scanning transmission electron microscopy", Takehito Seki, Kushagra Khare, Yoshiki O. Murakami, Satoko Toyama, Gabriel Sánchez-Santolino, Hirokazu Sasaki, Scott D. Findlay, Timothy C. Petersen, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, *Ultramicroscopy* 240 (2022) 113580.
- 3) "Quantitative electric field mapping in semiconductor heterostructures via tilt-scan averaged DPC STEM", Satoko Toyama, Takehito Seki, Yuya Kanitani, Yoshihiro Kudo, Shigetaka Tomiya, Yuichi Ikuhara, and Naoya Shibata, *Ultramicroscopy* 238 (2022) 113538.