

2023 年度年次報告書

計測・解析プロセス革新のための基盤の構築

2023 年度採択研究代表者

馮 斌

東京大学 大学院工学系研究科

特任准教授

電子線照射を活用した原子分解能その場観察法の開発と材料研究への応用

研究成果の概要

無機材料のマクロな機能特性は、その内部に形成される界面、転位、表面などの原子レベルの格子欠陥に強く依存する。そのため、新規高性能材料を開発するには、格子欠陥の原子構造と機能発現の本質的メカニズムを理解し、その知見に基づいた材料設計指針が必要である。サブ Å の空間分解能を有する走査透過型電子顕微鏡(STEM)は、格子欠陥の原子構造を直接観察できる極めて強力な手法である。しかし、一般にこれらの観察は静的観察に留まっており、外場印加・実環境下における格子欠陥の形成過程や機能発現するダイナミクス過程など、材料機能発現の根元である格子欠陥ダイナミクス過程の原子分解能直接観察は未だに困難である。本研究では、電子線照射を界面ダイナミクスのトリガーとして活用し、外場印加特殊ホルダーと高度に融合することで、原子分解能 STEM その場観察法の確立を目指す。さらに、この手法を多様な材料に展開し、格子欠陥ダイナミクスの素過程を探求することで材料形成および機能発現メカニズムの解明を目指す。

今年度はドーパント偏析による Al_2O_3 粒界構造変化の直接観察に重点を置いて研究を進めた。バイクリスタル法により作製した Al_2O_3 モデル粒界の表面に金属 Ti を堆積し、高温条件下で Al_2O_3 粒界中に Ti を拡散させた。この過程で Ti の粒界偏析と粒界構造変化を誘発し、モデル材料として作製した。次に、STEM とエネルギー分散型 X 線分光法(EDS)を併用し、粒界原子構造と Ti の分布を観察し、粒界構造の変化、異なる粒界構造の結合部分および Ti の拡散先端を同定することに成功した。その結果、粒界構造は Ti の濃度が特定の閾値を超えると変化することが明らかになった。次年度はこれらの結果に基づいて各拡散位置の Ti 濃度により Ti の拡散速度を計算する。得られた知見により、粒界構造変化の直接観察を目指した STEM 加熱実験および電子線照射の最適条件を検討し、その直接観察を試みる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) J. Yan, S. Kondo*, B. Feng, N. Shibata, Y. Ikuhara*. Atomistic investigation of grain boundary fracture in Alumina. *Nano Lett*, **24**, 3112-3117, (2024)
- 2) J. Yan, R. Shi, J. Wei, Y. Li, R. Qi, M. Wu, X. Li, B. Feng*, P. Gao*, N. Shibata, Y. Ikuhara*. Nanoscale localized phonons at Al_2O_3 grain boundaries. *Nano Lett*, **24**, 3323-3330, (2024)
- 3) R. Murakami, B. Feng*, K. Matsui, S. Kondo, N. Shibata, Y. Ikuhara*. Fabrication of 3YSZ with single tetragonal phase by ultrafast high-temperature sintering. *Ceram International*, In press.