

【基盤研究(S)】 大区分D



研究課題名 原子スケール局所磁場直接観察手法の開発と磁性材料 界面研究への応用

東京大学・大学院工学系研究科・教授
しばた なおや
柴田 直哉

研究課題番号： 20H05659 研究者番号：10376501

キーワード： 走査型透過電子顕微鏡、電磁場、界面、磁性材料、鉄鋼材料

【研究の背景・目的】

本研究では、研究代表者らが世界で初めて開発に成功した原子分解能磁場フリー電子顕微鏡法をベースとして、磁性材料の局所構造（界面、粒界、表面、転位、点欠陥等）における原子・電子構造と局所電磁場分布の実空間同時観察を実現する新たな原子分解能電子顕微鏡手法を開発する。更に、この手法を磁石材料、スピンドバイス、鉄鋼材料、トポロジカル材料、セラミック材料などの局所界面構造解析に応用することで、原子レベルの局所構造と磁性との相互作用を本質的に明らかにすることを目指す。これにより、局所構造による機能発現メカニズムを本質的に解明し、これまでにない新しい磁性材料設計指針を構築することを目指す。更に、これまで電子顕微鏡による観察が不可能とされてきた原子磁気モーメント、界面磁気構造、電気分極などの直接観察を実現し、最先端計測から磁性材料研究の進展とデバイス応用を強力に牽引し、広く社会・産業界に貢献することを最終的な目的とする。

【研究の方法】

本研究では、研究代表者らが独自開発してきた原子分解能磁場フリー電子顕微鏡を、微分位相コントラスト(DPC) STEM法と高度に融合することにより、超高分解能電磁場定量観察手法の開発を行う。具体的には、多分割型検出器及びピクセル型検出器を用いた電子回折図形の重心定量検出による電磁場定量観察手法開発及び電場・磁場の切り分け手法開発を行うとともに、マルチスライス計算に基づく電磁場

観察理論計算手法を確立し、DPC STEM像から局所電場・磁場を定量的に評価するための基盤技術を確立する。更に、開発した手法を様々な磁性材料界面（希土類磁石、フェライト系磁石、電磁鋼板、スピンドバイス、磁気スキルミオン、酸化物ヘテロ界面等）に応用展開し、局所界面構造による磁性発現メカニズムを解明する。このような研究を通じて、高性能磁性材料開発のための新たな界面設計制御指針の構築を行う。

【期待される成果と意義】

磁性材料における機能特性発現メカニズムを本質的に解明するためには、材料内部の局所構造により誘起された局所電場・磁場構造の解明が不可欠である。これまでの電子顕微鏡による局所構造解析手法では、局所電磁場の原子スケール直接観察は世界的に未踏領域であった。そこで本研究では、原子レベルの局所構造とそれによって誘起された局所電場・磁場の両方の同時計測を可能にする新たな顕微鏡手法を世界に先駆けて開発する。特に、原子スケールの磁場観察は全くの未踏領域であり、顕微鏡学の新たなステージを切り開くことが期待される。更に、本研究では単なる装置・手法開発に留まることなく、一貫通貫に磁性材料界面研究に本開発手法を応用することで、粒界、異相界面、転位、表面等における局所原子構造とその磁性との相関性を本質的に解明し、幅広い磁性材料分野に多大な波及効果をもたらすことを目指す。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ N. Shibata, T. Seki *et al.*, “Atomic resolution electron microscopy in a magnetic field free environment,” *Nature Comm.*, **10**, 2380 (2019).
- ・ N. Shibata, T. Seki *et al.*, “Direct Visualization of Local Electromagnetic Field Structures by Scanning Transmission Electron Microscopy,” *Acc. Chem. Res.*, **50**, 1502-1512 (2017).

【研究期間と研究経費】

令和2年度－6年度 148,300千円

【ホームページ等】

<https://www.saaf.t.u-tokyo.ac.jp/>
shibata@sigma.t.u-tokyo.ac.jp

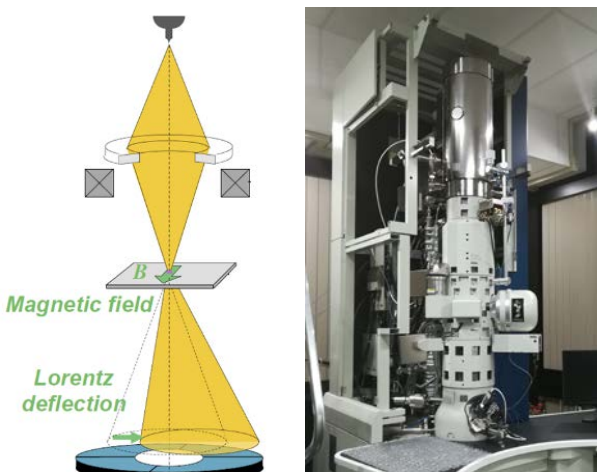


図1 DPC STEM法による磁場観察の模式図
と原子分解能磁場フリー電子顕微鏡