

三次元磁気位相顕微技法

所属 理化学研究所

創発物性研究センター 電子状態マイクロスコピー研究チーム

氏名 于秀珍





1



技法開発の研究背景

スキルミオントロニクス

モアレ構造由来創発物性







Wang, Y., et al. Nat. Phys. 18, 48 (2022)





技法開発の研究背景

イメージ@FEI, Japan

R. Ishikawa, eta l., ACS Nano 2021, 15, 5, 9186 (2021)



原子レベル高空間分解能を有する電子線トモグラフィー: 3次元結晶構造の決定 2024年6月20日

RIKEN



SIKEN

技法開発の研究背景





技法開発の研究背景

X線トモグラフィー (室温)



Donnelly, C. et al. Nature 547, 328 (2017)



Seki, S. et al. Nat. Mater. 21, 181 (2022)

—空間分解能10 nm以上 —室温に限定







C

SIKEN

技法開発の研究背景



電子線トモグラフィー(95 K)



Wolf, D. et al. Nat. Nanotechnol. 17, 250 (2022) 長記録時間(数時間~数日)、データ処理複雑

- オブジェーの動的挙動不向き



RIKEN

従来技術とその問題点

既に実用化されている3次元磁気構造顕 微技法には、X線や電子線によるトモグラ フィー法等があるが、

データ記録とその解析に長時間(数日 もしくは数週間)がかかることにより対象オ ブジェーの動的挙動の追跡はできない

X線を利用する際、ビームタイムが限られること、

電子線利用する際、試料を回転時 (右図に示す)、磁気レンズから生じる漏 れ磁場が磁気構造を破壊すること、または 既存の電子線ホログラフィー法は、データ解 析に煩雑等の問題があり、

3次元磁気構造顕微技法は広く利用されるまでには至っていない。





RIKEN

従来技術の問題点の改善1



- 高空間分解能観察下(5nm以下)
- ー 記録時間は40分まで短縮、オブジェーの追跡可



従来技術の問題点の改善2



零磁場のスキルミオン結晶を顕微鏡中に生成









3次元スキルミオンの観察と問題点





問題点: 試料の傾斜角度レンジ <±50°、情報欠落



新技術の特徴

位相差微分顕微法







RIKEN



新技術で得られた成果





トップビュー





サイドビュー



楕円状スキルミオンの3次元磁場分 布が3次元顕微観察により得られた。

200 nm

2次元位相像

磁気渦のペアがスキルミオン・ストリン グの両端(試料の表面付近)にお いて、世界で初めて観察された。

この二つの渦は試料の厚さ方向に繋 がっていないが、渦コアの方向は一致 している。



13



新技術で得られた成果



低温(95K)において、準安定なスキルミオン・ストリング は試料表面付近に歪んていることが観察された







80-nmスキルミオン・ストリングの融解プロセスを明らかにした





新技術で得られた成果



3次元磁気構造の理論は存在したが、 今回、広い温度範囲で3次元顕微観察することに成功した。





新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術と比較しての強み

- 従来技術の問題点であった、長時間のデータ取得を改良することに成功した。
- 従来はデータの解析が煩雑である点で3次元磁化構造の顕微観察は 限られていたが、新技術は高精度且つ汎用性が向上できたため、高効 率で3次元磁化構造を含むの顕微観察することが可能となった。
- 従来技術は静止したオブジェクトの情報しか得られないのに対して、新技術は広い温度幅(95K-室温)で磁化構造を含む3次元構造の動的挙動を追跡することが可能となった。





企業への期待

- 未解決の複雑な3次元磁化構造を含む、3次元デバイスの微細構造の可視化及びその動的挙動の追跡については、新たに開発された3次元顕微技術(3次元解像度~5nm、測定時間~10min、測定温度~室温)により克服できると考えている。
- 磁気メモリデバイスや磁気データストレージ、磁気センサー を開発中の企業、顕微観察分野への展開を考えている 企業には、本技術の導入が有効と思われる。





本技術に関する知的財産権

- 発明の名称:データ処理装置、透過型電子顕微鏡装置、およびプログラム
- 出願番号 : 特願2024-063194
- 出願人 : 理化学研究所
- 発明者 : 于 秀珍、十倉 好紀、田口 康二郎、チュ イリン





お問い合わせ先



株式会社理研鼎業(りけんていぎょう)

新技術説明会事務局 Email:senryaku@innovation-riken.jp



20