

7-1. 将来の装置活用に向けた応用実験

— 300kVホログラフィー電子顕微鏡を用いた成果 —

ナノスケールのスピン渦（スキルミオン）の観察（超低消費電力な次世代の演算・磁気メモリ素子の実現に道）

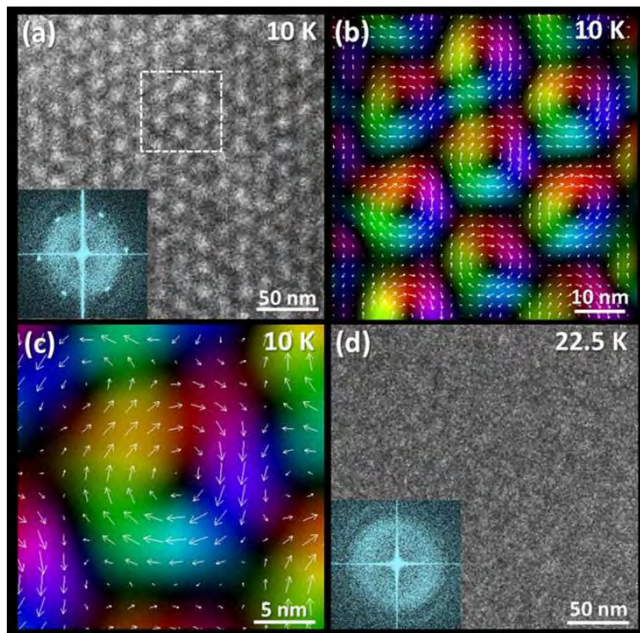


図1. MnSi中の磁気ドメイン構造の温度依存性（垂直磁場0.18 T印加時）

A. Tonomura, X. Yu, K. Yanagisawa, T. Matsuda, Y. Onose, N. Kanazawa, H. S. Park, Y. Tokura, *Nano Lett.* **12**, 1673 (2012)

ナノ領域（逆位相境界、APB）での磁性特性の究明・解析（スピントロニクスに応用、新しいナノテクノロジーの創出）

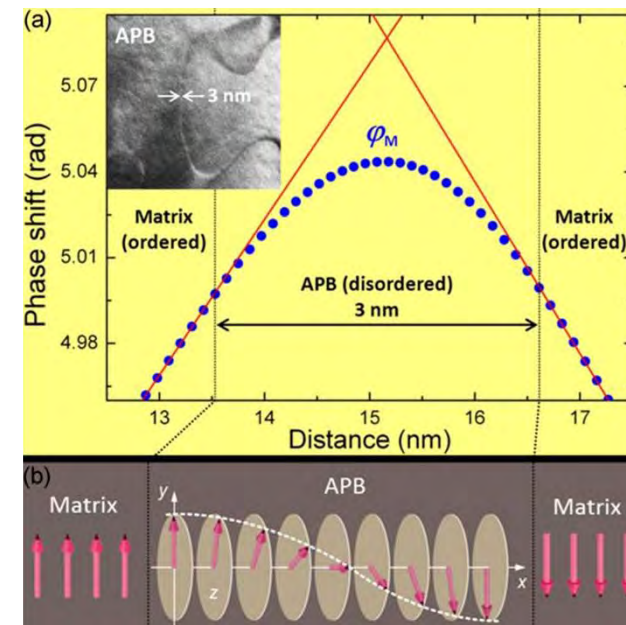


図2. $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Al}_{12.5}\text{Ga}_{12.5}$ 中のAPBでの磁場の位相変化及び磁化分布の模式図

H. S. Park, Y. Murakami, K. Yanagisawa, T. Matsuda, R. Kainuma, D. Shindo, A. Tonomura, *Adv. Funct. Mater.* DOI: 10.1002/adfm.201103052 (2012)

1.2 MVの高空間分解能、高位相分解能、高透過能を用いて、より小さい半径のスキルミオン（数nm程度）の発見やナノ界面近傍での局所的な磁性の変調を可視化することが期待される。（科学的に世界初の成果で、産業的にも非常にインパクトが高い）

7-2. 将来の装置活用に向けた応用実験

— 300kVホログラフィー電子顕微鏡を用いた成果 —

磁気記録材料の磁気特性評価
(高密度磁気記録・磁気ヘッド等の基礎
と応用研究)

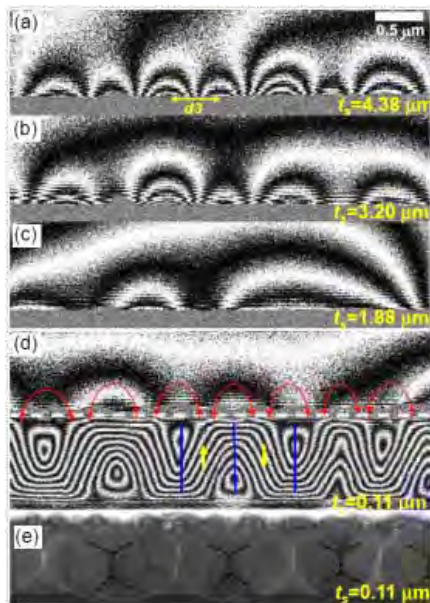


図3. $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 試料厚みによる漏れ磁場と磁区構造の変化

W. X. Xia, Y. S. Chun, S. Aizawa, K. Yanagisawa, Kannan. M. Krishnan, D. Shindo, A. Tonomura, *J. Appl. Phys.* **108**, 123919 (2010)

磁気渦構造(ボルテックス)の三次元
磁化分布の可視化(基礎ドメイン理論
面から重要)

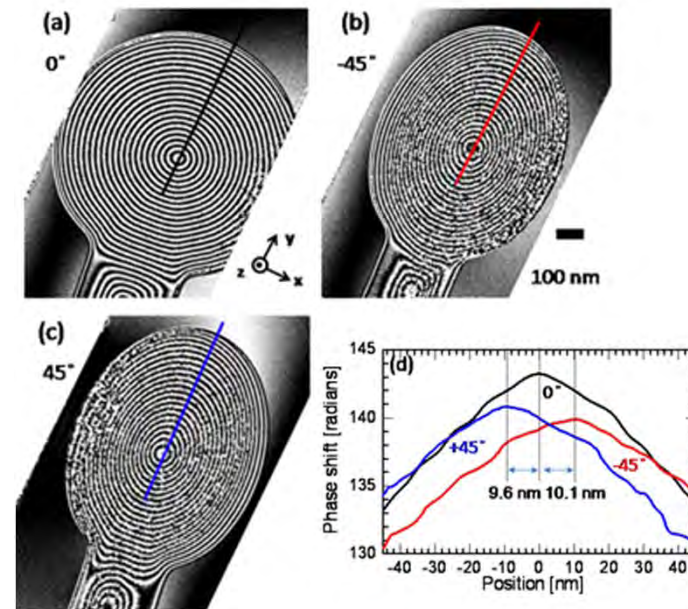


図4. 円盤状(長径1 μm)の軟磁性材料FeSiBの電子線ホログラフィー位相像から求めた磁気渦構造

W. X. Xia, S. Aizawa, T. Tanigaki, T. Suzuki, Y. Yoshizawa, D. Shindo, A. Tonomura, *J. Electron. Microsc.* **61(2)**, 71 (2012)

1.2 MVの大きな特徴は300kVより厚い試料内部での電磁気学的な現象を実デバイスやバルク特性により近い状態で可視化することが可能である。本研究は工学(材料科学)の基礎技術に直接関わるものであり、革新的な材料を創出する。

7. 将来の装置活用に向けた応用実験(補足)

年度	目標及び達成状況	備考
23年度	目標 300kVによる応用テーマ探索 - ローレンツ顕微鏡法によるスキルミオン格子観察 - 磁気記録材料及びスピネル酸化物の磁気特性評価 - 磁気渦の3次元磁化分布の可視化	第1回 応用研究会(2010.7.30)及び第2回 応用研究(2011.2.7)にてテーマ検討
	達成状況 - ローレンツ顕微鏡法によるMnSi薄膜試料でのスキルミオン格子観察に成功(<i>Nano Lett.</i>) - 磁気記録材料及びスピネル酸化物の磁気特性評価 - Y₃Fe₅O₁₂膜の磁区構造観察(<i>JAP</i>) - MnV₂O₄の磁区構造と微細構造観察(<i>PRB, J. Alloys Comp.</i>) - 軟磁性材料FeSiBの三次元磁化分布の可視化に成功(<i>JEM</i>)	
24年度 25年度	目標 300kVを用いたよりインパクトの高い成果の創出 23年度までの成果を活かした観察技術の確立 - ナノ領域での磁性特性の究明・解析(<i>Adv. Funct. Mater.</i>、追加実験中) - スキルミオンの磁場の定量化及び動的観察 - 磁気ヘッド素子の磁化分布可視化 - 巨大スピン蓄積効果可視化 - 新干渉技術の確立と応用研究 300kVで得られた成果等から1.2MVに適用するテーマを検討	第3回 応用研究会(2011.12.9)にてテーマ検討 応用研究会の開催により研究テーマ選定予定

8. 応用研究会の開催

《第1回》

- 日時：2010年7月30日(金) 13:00～16:45
- 場所：日立製作所 基礎研究所
- テーマ：高輝度位相検出手法への取り組みと応用実験(第1回)
- 外部有識者、他：赤瀬 善太郎(東北大学)、陳 軍(東京工芸大学)、森 博太郎(大阪大学)
平田 京(TDK) 太田 慶新(マイクロフェーズ)

《第2回》

- 日時：2011年2月7日(月) 12:50～17:15
- 場所：日立製作所 基礎研究所
- テーマ：高輝度位相検出手法への取り組みと応用実験(第2回)
- 外部有識者、他：大谷 義近(東京大学／理化学研究所)、井土 宏(東京大学／理化学研究所)
福岡 康裕(理化学研究所)、平田 京(TDK)、太田 慶新(マイクロフェーズ)

《第3回》

- 日時：2011年12月9日(金) 12:55～17:15
- 場所：日立製作所 中央研究所(基礎研究サイト)
- テーマ：ホログラフィー電子顕微鏡を用いた応用実験と高輝度位相検出手法への取り組み
- 外部有識者、他：門脇 和男(筑波大学)、小泉 裕康(筑波大学)、秀方 遼(筑波大学)、
大谷 義近(東京大学／理化学研究所)、井土 宏(東京大学／理化学研究所)、
于 秀珍(理化学研究所)、室岡 義栄(大阪大学)、戸丸 辰也(日立製作所)、
平田 京(TDK)

9. 広報活動

◆ ホームページによる情報発信 (平成22年3月10日公開)

- URL : <http://www.first-tonomura-pj.net/>

◆ 国際ワークショップの開催 (※プログラム公開活動経費により実施)

Tonomura FIRST International Workshop on “Challenges To New Developments in Electron Microscopy”

- 日 時 : 平成22年11月8日－10日
- 場 所 : 東京・秋葉原
- 招聘者: 海外19名(米、独、英、仏、蘭、デンマーク)、国内15名
世界トップの電子顕微鏡の装置研究者と利用研究者を招聘
- 参加者: 延べ165名
- 議論の主体: 電子顕微鏡高性能化にむけた要素技術・装置実現可能性

◆ 国際シンポジウムの開催

Tonomura FIRST International Symposium on “Electron Microscopy and Gauge Fields”

- 日 時 : 平成24年5月9日－10日
- 場 所 : 東京・新宿
- 招聘者: 海外11名(米、独、仏、イスラエル、台湾)、国内22名
世界トップの物理学者(含ノーベル賞受賞者3名)と電子顕微鏡研究者を招聘
- 参加者: 延べ268名
- 議論の主体: 電子顕微鏡を利用した量子現象研究と量子効果を用いた新たな量子科学の展開

9. 広報活動(補足) — 国際シンポジウムの反響 —

◆内外研究者からの反響 (本年5月開催のシンポジウムでのインタビューから)

1. Chen Ning Yang教授 (精華大学、香港中文大学、ニューヨーク州立大学)
(1957 ノーベル物理学賞受賞)

「外村博士がFIRST プロジェクトの1人として日本政府に選ばれたと聞いた時には、非常にうれしく思いました。外村博士をよく知っている人は誰でもプロジェクト終了時には、原子レベルの現象をより高性能、高解像度で見ることが出来るようになるかと分かっていたからです。従って、2カ月前に外村博士が危篤になっていると聞いたことは、大きなショックでした。これは私だけでなく、日本にとっても、物理学にとっても大きなショックでした。この国際シンポジウムで外村に会えると期待していたのですが、残念ながらそれはなりませんでした。しかし、このFIRST外村プロジェクトが継続され、最終的には外村博士の洞察力と夢がかなえられるものと信じています。」

2. Anthony J. Leggett教授 (イリノイ大学)(2003 ノーベル物理学賞受賞)

「FIRST外村プロジェクトは非常に意義のあるプロジェクトだと思います。外村博士は今まで電子線ホログラフィーを用いて電子顕微鏡の観測限界を何桁も向上させてきました。このプロジェクトでは、さらに観測限界を少なくとも一桁向上させ、原子サイズレベルでの原子や原子の運動が観測出来る技術を開発しており、完成すれば世界初であり、疑いなく非常に素晴らしいことです。」

3. Yakir Aharonov教授 (テルアビブ大学、チャップマン大学)(1998 ウルフ賞受賞)

「外村博士のAB効果検証の実験は現代物理学では最も重要な実験の1つである。これを成功させるために、ベストな電子顕微鏡を作り続けてきた外村博士が計画し、実施しつつあるこのプロジェクトが継続されることを切に願っている。というのは、このプロジェクトが完成すると、世界で最高性能を持つ電子顕微鏡ができあがり、今まで見る事ができなかった原子レベルの量子力学的現象をはじめて見る事ができるようになるからである。」

10. フォローアップへの対応状況①

<課題・留意点>

本研究課題について、理化学研究所で行っている予備実験、応用実験の位置付けを明確にした上で、全体として期待される成果、目標を、より具体的に明示することが期待される。

<対応状況>

理化学研究所で行っている予備実験、応用実験については、以下の通り。

① 予備実験 → 解析手法の高度化

- 開始時の計画において、予備実験として挙げている3次元再構成実験と高精度位相計測については、解析手法の高度化に関する開発項目である。
- 3次元再構成実験は日立製作所の開発項目である制御システムに、高精度位相計測は高精度位相検出系に対し、予め技術課題を確認したり、性能パラメーターをある程度まで最適化するための作業を行うものである。
- これにより、要素技術が遅延なく円滑に実機実装できるように図る。

② 応用実験 → 将来の装置活用に向けた応用実験

- 開発する原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡を用いた応用研究に向け、300kVホログラフィー電子顕微鏡を用いて行う予備実験である。
- 予備実験ではあるが、スキルミオンの観察等、それ自体に価値のある成果が出ている。

10. フォローアップへの対応状況②

<課題・留意点>

本研究課題で開発している電子顕微鏡につき、より多くの用途、使用者のニーズを想定し、産業界とのよりオープンな議論と企業参加が見込める場を設定していくことが期待される。

<対応状況>

- 本プロジェクトで開発される電子顕微鏡は、原子レベルでゲージ場を可視化するこれまでに無い、オンリーワンの分析装置となる。
- 基礎研究における多くの新たな発見をもたらし、科学技術や産業技術の発展を促すことで社会に貢献するものであり、インパクトのある成果を期待できるテーマを、①有識者からの個別意見聴取、②国内外の専門家を集めた応用研究会、国際ワークショップの開催等を通じて検討している。
- また、将来的な共同利用については、日立と理研との協力関係を継続しつつ、国内外の研究者・研究機関との共同研究などにより、共同利用できる環境を構築していくことを想定している。なお、本格的な共同利用施設とするためには、国レベルの研究プロジェクト体制の構築が効果的であろう。

<課題・留意点>

知的財産権に関する取組みに関しては、平成22年度の特許出願が0件に留まっていることから、今後より積極的な出願等の取組みが求められる。

<対応状況>

現時点で1件出願済み、今後8件出願予定。