

外場中のローレンツ電顕法を用いてスキルミオンの可視化

于 秀珍

理化学研究所・基幹研究所・強相関量子科学研究グループ

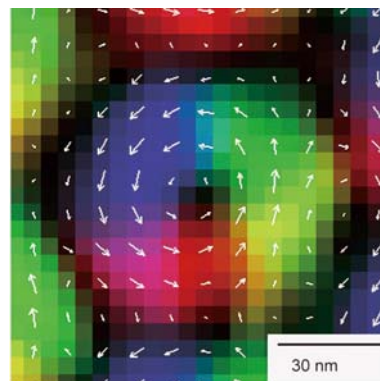
Visualization of skyrmions (nanometric vortex domains) by using Lorentz TEM in the external fields

Xiuzhen Yu

The Institute of Physical and Chemical Research

電子のスピ秩序を制御することにより特異な物理現象、たとえば、巨大磁気抵抗効果が現れることはよく知られている¹⁾。近年、外場でスピ秩序を制御すること、いわゆる「スピントロニクス」の研究が盛んであり、スピ秩序状態とその外部磁場依存性を知ることは重要な課題である。スキルミオン²⁾と呼ばれているナノオーダーボルテックスは、位相（トポロジー）を持つスピテクスチャーを指す。その中、スピ秩序の向きが丁度一回球面上の全ての方向を向くような配列である。2009年に中性子散乱実験により、B20型立方晶構造を持つらせん磁性体のスキルミオン格子が確認された³⁻⁴⁾が、逆空間観察より単一スキルミオンの磁化分布の定量評価が困難である。本研究では、磁場中の低温ローレンツ電顕法を開発し、電顕中にらせん型磁性体 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ 、 FeGe のスキルミオン相を生成させ、極低温ローレンツ顕微鏡法でスキルミオンの構造とスキルミオンの運動の実空間観察を行い、世界初に単一スキルミオン構造の可視化に成功した⁵⁻⁶⁾。

外部磁場ゼロ、 $(001)\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ 試料面に微小な (50mT) 垂直磁場を印加することにより、試料面上に直径 90nm のボルテックス磁区(スキルミオン)が 25K で観察された。位相計測法より得られたスピテクスチャーは、図に示されたように、ダーク色(紙面に垂直なモーメントを示す)の中心のまわりをカラーホイール丁度 1 周分の色で変化している。このスキルミオンは中心から外側に向けてモーメント(図中の矢印に示している)が立ち上がりながら面内においては反時計回りに渦を巻いていることが分かる。



また、単一スキルミオンからスキルミオン結晶への転移過程などの詳細を調べた。温度一定の場合、無磁場ではストライプ状のヘリカル磁気構造が見られる。磁場 20 mT においては部分的にスキルミオンが三角格子を形成し始め、ヘリカル磁気構造とスキルミオン結晶の共存状態が観測された。磁場 50 mT において、スキルミオン結晶状態が実現される。より強磁場領域では電子顕微鏡像においてコントラストが消失し、磁場方向に沿うシングルドメイン(強磁性状態)となる。同様に、磁場一定下での温度変化についての磁気構造変化を調べてみると、最低温(5 K)から温度上昇に従って、ヘリカルスピ秩序からスキルミオン結晶形成(25 K)、そして常磁性状態(40 K)へと変化することが分かる。この結果は、スキルミオンの生成や消滅過程、いわゆるスキルミオンのダイナミクスを示している。

1) Y. Tokura (ed.), *Colossal Magnetoresistive Oxides* (Gordon & Breach Science Publishers, 2000)

2) T. H. Skyrme, Proc. R. Soc. A **260**, 127 (1961).

3) S. Mühlbauer, et al., Science **323**, 915 (2009).

4) W. Münzer, et al., Phys. Rev. B **81**, 041203(R) (2010).

5) X. Z. Yu, et al., Nature(London) **465**, 901 (2010).

6) X. Z. Yu, et al., Nature Mater. **10**, 106 (2010).