

## 磁気抵抗率の異方性の測定による薄膜での磁気スキルミオン形成の解明

近年スキルミオンというナノスケールの渦状磁気構造体が発見され、世界的に活発な研究が行われている。トポロジーという数学の観点から見るとスキルミオン構造は既存の磁気構造と異なる類に属し、それに特有の物性を示すことから次世代省電力メモリ材料の有力な候補と注目されている。本研究では、スキルミオン物質  $\text{MnSi}$  における大きな異方的磁気抵抗効果を発見し、さらにこの物性を用い、薄膜化した  $\text{MnSi}$  デバイスにおいても面内に整列したスキルミオン状態が形成されることを観測した。これは将来の“スキルミオン記録素子”中の情報ビット検出法の可能性も示唆する。

キラルな結晶構造を持つ磁性体の特定の温度磁場条件下でスキルミオンと呼ばれる新規な磁気構造が発見された。スキルミオン磁気構造は、図 1 左のように磁気モーメントの渦状構造が磁場に平行な方向に一樣に伸びた円柱状の構造である。一つのスキルミオン中の磁気モーメントを一点に集めるとその向きが球面全体を覆うという性質を持ち(図 1 右)、位相幾何学(トポロジー)ではトポロジー数が非ゼロ(-1)となる特徴的なクラスに属する。このトポロジカルな構造に起因してスキルミオン相では様々な興味深い物理現象が観測されている。

例えばその中の一つに微小電流によるスキルミオンの駆動がある。次世代磁気メモリの開発戦略の一つとして、ハードディスク中の情報ビットとして振舞う磁気構造体(強磁性体磁区)を電流で動かすことによって、情報の“保存”だけではなく“転送”の機能を付加できるような手法が考えられている。この強磁性磁区の電流駆動に関する研究は現在まで活発に行われており、消費電力量が少なく駆動できる磁気構造体の開拓が鍵となっている。スキルミオンはその特徴的なトポロジーから、従来の強磁性磁壁と比較して、必要な電流が 10 万分の 1 程度であり、次世代省エネルギーメモリ素子への応用が期待されている。

しかし、応用へ向けて克服しなければならないいくつかの課題がある。その一つがスキルミオンの安定化である。人間の手で扱える大きさの三次元的試料、すなわちバルク試料のスキルミオン相は磁気転移温度直下の狭い温度磁場領域でのみ安定で、他の領域では不安定である。一方、スキルミオンの高さ方向(磁場と平行な方向)に試料の厚さを数百ナノメートル以下に削った二次元的な試料では非常に広い温度磁場領域で安定化することが発見された。この発見を契機に、ナノテクノロジーを用いた今後のデバイス作製も見据え、半導体基板上に物質を薄く堆積したエピタキシャル薄膜におけるスキルミオン形成の研究が盛んに行われている。エピタキシャル薄膜では、試料の次元性以外にも格子不整合による基板からの応力によって磁気異方性が生じ、これがスキルミオンの安定化にも寄与することが指摘されていた。特に、これまでよく知られたスキルミオンが薄膜面直方向に整列した状態とは異なり、スキルミオンが薄膜面内に整列した状態(図 2)も実現しうることが理論的に提案されている。しかしながら、これまで面内に整列したスキルミオンの形成の実験的検証は、その検出の困難さのため十分には行われていなかった。

最近、東京大学工学系研究科物理工学専攻、理化学研究所創発物性科学研究センター、東北大学金属材料研究所のメンバーを中心とする研究グループは、スキルミオンがエピタキシャル薄膜の面内方向に整列して安定化している可能性を、磁気抵抗率の異方性の測定という新たなスキルミオンの検出方法を考案することより明らかにした。この成果は日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2015 年 10 月号に掲載された。

本研究では、まずスキルミオン物質の一つマンガンシリコン合金(MnSi)のバルク試料で、スキルミオンの高さ方向に対し電流を平行に流したときと垂直に流したときで磁気抵抗率が大きく異なる事(異方性)を発見し(図2)、磁気抵抗率の異方性の測定がスキルミオンの新たな検出方法として有用であることを明らかにした。

さらにこの新たな検出方法を用いて、MnSi エピタキシャル薄膜でスキルミオンが面内に整列した状態を調べた。シリコン(Si)基板上に堆積させた MnSi 薄膜では、基板との格子不整合により面内が磁化容易面となる磁気異方性が生じる。理論計算ではこの磁気異方性の効果により、面内方向に磁場を印加すると図2に示した様な面内に整列したスキルミオンが安定化する。面内に磁場を印加した時の磁気抵抗率の異方性の測定結果は、バルクにおけるスキルミオン相のそれと非常に似た振舞いを示し、面内にスキルミオンが整列した状態が形成されることが明らかになった。面内に整列したスキルミオンは磁気異方性が大きくなる低温領域で特に安定であることから理論計算の通り磁気異方性がその安定性に寄与していると考えられる。

本研究の成果はスキルミオンの安定機構の解明、さらには磁気異方性の制御等を通じたスキルミオンの制御につながると期待される。また、今回発見された磁気抵抗率の異方性の測定によるスキルミオンの新たな検出方法は、スキルミオンを用いたメモリ素子におけるスキルミオンの検出方法としての応用も期待される。

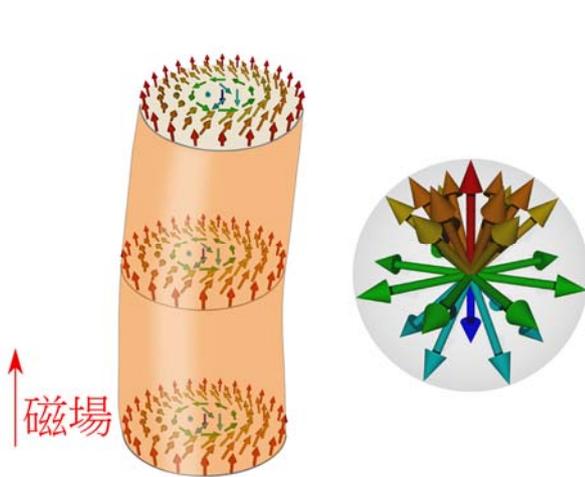


図1 スキルミオンの模式図

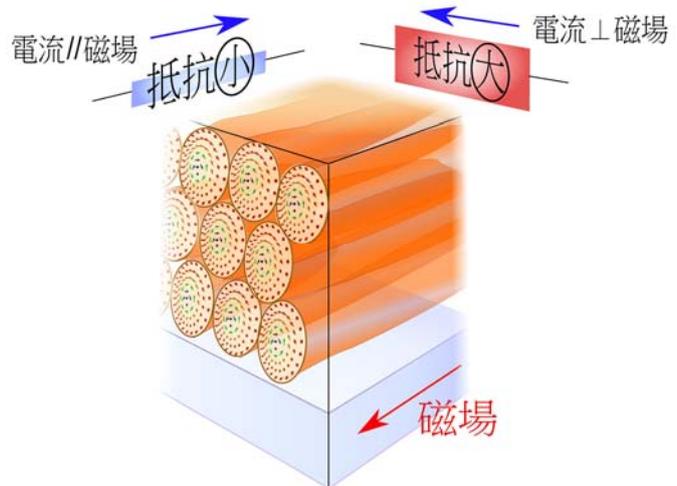


図2 MnSi 薄膜の面内に整列したスキルミオン

## 原論文

[Formation of In-plane Skyrmions in Epitaxial MnSi Thin Films as Revealed by Planar Hall Effect](#)

[Tomoyuki Yokouchi, Naoya Kanazawa, Atsushi Tsukazaki, Yusuke Kozuka, Akiko Kikkawa, Yasujiro Taguchi, Masashi Kawasaki, Masakazu Ichikawa, Fumitaka Kagawa, and Yoshinori Tokura: J. Phys. Soc. Jpn. \*\*84\*\*, 104708\(2015\).](#)

問合せ先：横内智行（東京大学大学院工学研究科）

金澤直也（東京大学大学院工学研究科）

十倉好紀（理化学研究所創発物性科学研究センター、東京大学大学院工学研究科）