

**研究課題名** マクロな時間反転対称性の破れた反強磁性体の物質設計と電氣的制御

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

せき

関

しんいちろう

真一郎

研究課題番号： 21H04990

研究者番号： 70598599

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 144,600千円

キーワード： スピントロニクス

【研究の背景・目的】

近年、物質の対称性やトポロジという幾何学的な性質が、革新的な電子機能を実現するための鍵として大きな注目を集めている。電子スピンの集団である磁性体は、その代表的な舞台の1つであり、例えばスピが平行に整列した強磁性体では、時間反転対称性と呼ばれる特殊な対称性が破れていることに起因して、磁気情報の保持・読み出し・書き込みが可能となっている。一方、スピが反平行に整列した反強磁性体の場合、通常は時間反転対称性が保たれているために、強磁性体と同様のアプローチによる情報処理は不可能である。しかし最近の理論研究によると、特殊な結晶構造を利用すれば、実は単純な反平行スピ構造であっても時間反転対称性を破ることが可能であり、この場合は磁化がゼロであるにも関わらず、物質内部に量子力学的位相に由来した巨大な仮想磁場が生じることがわかっている。この仮想磁場は、物質内部では磁化と同等の役割を果たすため、こうした時間反転対称性の破れた反強磁性体を用いることで、強磁性体が従来担ってきた様々な物質機能を代替できることが強く期待される。そこで本研究では、これまで実験的に未開拓だった時間反転対称性の破れた反強磁性体の集中的な探索を行うとともに、その特異な仮想磁場の存在から期待される様々な物質機能（通常反強磁性体では不可能と考えられてきた「↑↓」「↓↑」状態の電氣的な読み出し・書き込み等）を実証することを目指す。時間反転対称性の破れた反強磁性体は、強磁性体に代わる次世代の情報機能材料として活用できるポテンシャルを秘めており、その包括的な理解と応用に向けた、新たな基礎学理の構築に取り組むたい。

【研究の方法】

磁性体の代表例としては、スピが平行に整列した強磁性体と、反平行に整列した反強磁性体が知られているが、従来の磁気記憶素子の中では、ビット情報の保持のために専ら前者が利用されてきた。これは、強磁性体では「↑」と「↓」の状態を明確に区別できる（時間反転対称性が破れている）のに対して、通常反強磁性体では「↑↓」「↓↑」の2つの状態が並進操作によって完全に一致してしまうため、両状態を区別できない（時間反転対称性が保たれている）ことに由来している。

しかし実際には、非共型（ノンシンモルフィック）

と呼ばれる特殊な対称性の結晶構造を伴う反強磁性体中では、「↑↓」「↓↑」の2つの状態が非等価になり、両者の区別が可能である事が理論的に指摘されている。例えば、磁性イオン間に互い違いに非磁性イオンが存在している場合には、「↑↓」と「↓↑」の状態は並進操作を行っても一致しなくなるため、時間反転対称性の破れが生じ、両状態を明確に区別できるようになる。さらにこの状況では、強磁性体と同様の時間反転対称性の破れを反映して、しばしば電子構造の空間的な歪み（量子ベリー曲率）に由来した巨大な仮想磁場が物質内部に現れることが判っている。この物質内部の仮想磁場は、理論的には強磁性体中の磁化と同じような役割を果たすため、上述のような時間反転対称性の破れた反強磁性体は、強磁性体と非常によく似た外場応答を示すことが期待される。

本研究では、こうした時間反転対称性の破れた反強磁性体の集中的な開拓を行うとともに、仮想磁場を介した「↑↓」「↓↑」状態の様々な読み出し・書き込み手法の開拓を目指す。

【期待される成果と意義】

時間反転対称性の破れた反強磁性体は、強磁性体が従来担ってきた既知の多彩な磁性関連現象・スピントロニクス機能を代替できるだけでなく、①磁化由来の漏れ磁場が無い場合、素子の集積化の阻害要因となっているビット間干渉を避けられる、②磁気共鳴周波数が高く応答速度が2～3桁高速である、といった独自の利点も備えており、基礎・応用どちらの観点からも、本研究の波及効果は極めて大きいと考えられる。本研究で取り組む反強磁性金属中の「↑↓」「↓↑」状態の電氣的読み出し・書き込みは、これまで長らく不可能と考えられてきた現象であり、世界に先駆けて室温動作可能な新物質の開拓と、仮想磁場にまつわる新しい制御手法の原理実証を推し進めることで、時間反転対称性の破れた反強磁性体を利用した情報処理の実現に向けた新たな学術基盤を確立したい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ Smejkal *et al*, “Crystal time-reversal symmetry breaking and spontaneous Hall effect in collinear antiferromagnets”, *Science Advances* 6, 8809 (2020).

【ホームページ等】

<http://sekilab.net/>