

【助成 39-11】

ノンコリニア反強磁性の電流誘起高速ダイナミクスの直接観測と
新機能スピントロニクスデバイスの創製

代表研究者 東北大学 材料科学高等研究所 特任助教 竹内 祐太郎

〔研究の概要〕

近年、スピントロニクス分野で磁化がゼロの反強磁性体が注目を集めている。特にノンコリニア反強磁性体は異常ホール効果など特異な量子効果を示すことが報告され、当該研究領域が活性化している。さらに最近では薄膜デバイスを用いた研究が活発になり、ノンコリニア反強磁性体の磁気構造の電氣的制御などが実証されるようになった。本研究ではこれらを更に発展させ、ノンコリニア反強磁性体の磁場・電流誘起ダイナミクスの評価およびナノスケールデバイス領域での特性評価を行った。ノンコリニア反強磁性の特異な反転ダイナミクスを観測するとともに、ナノサイズにおける熱安定性の評価・高速電流誘起反転の実証に成功した。

〔研究経過および成果〕

スピントロニクスでは磁化を有する強磁性体を中心に研究されてきた。近年では磁化がゼロの反強磁性体はその高速性、外部磁場に対するロバスト性など従来の強磁性体にはない特性を有することから、注目されている。反強磁性体は一般的に磁気秩序の変化に伴う電気抵抗の変化が小さく、デバイスの電氣的読み取りが難しいという課題を抱えていたが、スピンの非共線的な構造を有したノンコリニア反強磁性体で大きな異常ホール効果が観測され、新しい反強磁性スピントロニクス材料として期待されている。ごく最近ではノンコリニア反強磁性体の薄膜デバイスを用いて、電流印加による磁気構造の反転・回転などが報告され、当該材料の薄膜デバイス研究が活発になっている。本研究ではノンコリニア反強磁性体 Mn_3Sn 薄膜デバイスにおける磁場および電流誘起ダイナミクスの観測を行うとともに、より応用に向けた研究として世界初のノンコリニア反強磁性体のナノドットを作製し、その特性評価および高速電流誘起反転を行っ

た。

最初にマグネトロンスパッタリング法によって薄膜を成膜した。ナノドットの微細加工には電子線リソグラフィと Ar イオンミリングを使用した。また、ノンコリニア反強磁性体 Mn_3Sn の磁気構造の観測手法として直流四端子法による異常ホール測定の評価および磁気光学カー効果を用いた。

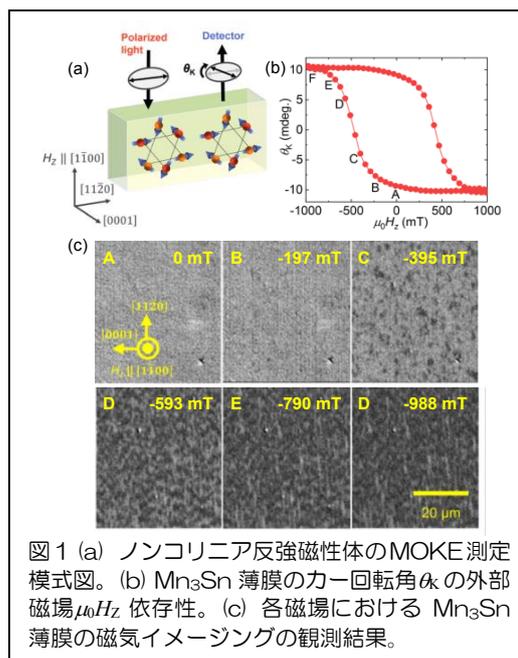


図1 (a) ノンコリニア反強磁性体のMOKE測定模式図。(b) Mn_3Sn 薄膜のカー回転角 θ_k の外部磁場 $\mu_0 H_z$ 依存性。(c) 各磁場における Mn_3Sn 薄膜の磁気イメージングの観測結果。

Mn₃Sn の磁場誘起ダイナミクスの観測のため磁気光学カー(MOKE)効果による磁区観測を行った[図 1(a)]。10 mdeg のバルクの報告に近い大きなカー回転角を得る[図 1(b)]とともに、Mn₃Sn のカゴメ面内に延びた異方的な磁壁伝搬という従来では見られなかった特異な反転ダイナミクスが観測された[図 1(c)]。

次にノンコリニア反強磁性体 Mn₃Sn のナノスケールドット素子を作製し、その特性を調べた。図 2(a)および(b)はそれぞれ作製した単一ナノドットの電子顕微鏡による観察画像と特性評価のための測定系の模式図である。作製したナノドット Mn₃Sn において磁気秩序の状態保持時間を決める熱安定性を調べた。熱安定性の評価にはパルス磁場をドット素子に印加し、Mn₃Sn のスイッチング確率の反転磁場依存性から評価した。図 2(c)は評価した熱安定性 Δ のドット直径 D 依存性である。熱安定性はドット直径が 300 - 1000 nm の間では有意な変化は見られず、300 nm 以下では減少に転じた。この振る舞いについては従来の強磁性体でも報告されたように、単磁区モデルおよび核生成モデルによって説明が可能であることを明らかにした。

本研究では他にも重金属/Mn₃Sn における Mn₃Sn に作用するスピントルクの定量的評価やナノドット Mn₃Sn のナノ秒~サブナノ秒パルス電流による高速電流誘起反転の結果が得られた。以上の研究によって新規反強磁性スピントロニクス材料であるノンコリニア反強磁性体のスピンドイナミクスの理解を深めるとともに、メモリ・発振素子など新規デバイス等の実現に向けた重要な指針が得られた。

[発表論文]

1. T. Uchimura, J-Y. Yoon, Y. Sato, Y. Takeuchi *et al.*, “Observation of domain structure in non-collinear

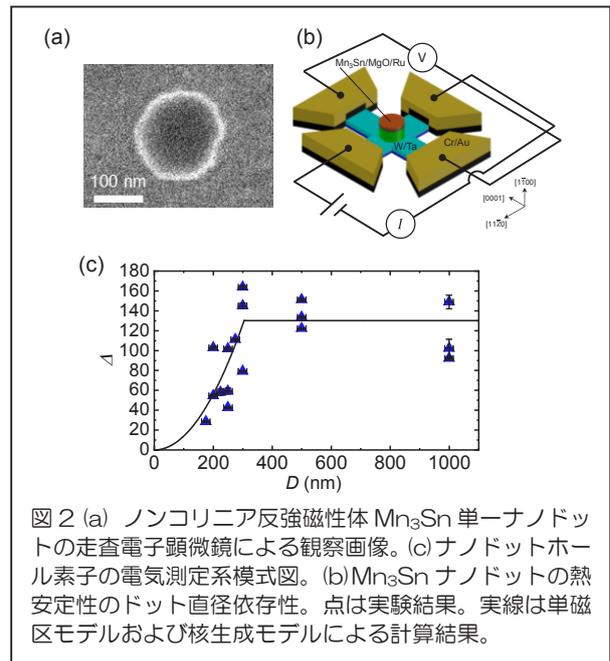


図 2 (a) ノンコリニア反強磁性体 Mn₃Sn 単一ナノドットの走査電子顕微鏡による観察画像。(c)ナノドットホール素子の電気測定系模式図。(b)Mn₃Sn ナノドットの熱安定性のドット直径依存性。点は実験結果。実線は単磁区モデルおよび核生成モデルによる計算結果。

antiferromagnetic Mn₃Sn thin films by magneto-optical Kerr effect”, *Appl. Phys. Lett.* **120**, 172405 (2022).

2. Y. Takeuchi *et al.*, “Chiral-spin rotation of non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn by spin-orbit torque” (招待講演), 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA, 2022/1/10-2022/1/14.

3. K. Kishi, Y. Takeuchi *et al.*, “Evaluation of spin-orbit torque acting on antiferromagnet”, submitted (2022).

4. Y. Sato, Y. Takeuchi *et al.*, “Thermal stability of non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn nanodot”, submitted (2022).