

修士学位論文要約 (令和 4 年 9 月)

磁気光学カー効果によるノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn 薄膜の 磁区構造観察

内村 友宏

指導教員：深見 俊輔

Observation of domain structure in non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn thin films by magneto-optical Kerr effect

Tomohiro UCHIMURA

Supervisor: Shunsuke FUKAMI

Non-collinear antiferromagnet has recently attracted increasing attention in spintronics owing to various topological phenomena. Here, I perform hysteresis-loop measurement and domain imaging for (1100)-oriented D₀19-Mn_{3+x}Sn_{1-x} (-0.11 ≤ x ≤ 0.14) thin films using the magneto-optical Kerr effect (MOKE), and discuss on the reversal process and its consequences. MOKE images under external magnetic field reveal that the reversal starts with a nucleation of domains dispersed in the film, followed by an anisotropic propagation of domain wall. Furthermore, MOKE images at the saturated state shows that x dependence of MOKE is explained by the amount of the reversible area that crucially depends on the crystalline structure of the film. This study provides a magneto-optical basis for studying chiral-spin structure and domain dynamics of the non-collinear antiferromagnet.

1. はじめに

反強磁性体は、多くの研究が行われている強磁性体とは異なる特徴を有し、新機能スピントロニクス材料として盛んに研究が行われている¹⁾。従来の反強磁性体は、磁化を持たないため磁気状態の検出が難しく、その機能性の開拓が制限されてきた。そのなかで近年、カイラルスピン構造を有するノンコリニア反強磁性体は、電子構造のトポロジーに起因した巨大な異常ホール効果(AHE)や磁気光学カー効果(MOKE)を示すことが明らかになり²⁻⁴⁾、反強磁性体研究に革新をもたらした。そして最近、薄膜化が可能になったことで電流による磁気状態の制御⁵⁾、さらには従来の磁性体では見られない新規物理現象の観測が報告されてきた⁶⁾。このように、これまでノンコリニア反強磁性体ではバルク結晶や薄膜においてその機能性の探索が行われてきたが、それらを新機能デバイスに応用する際、薄膜構造における磁化反転機構を理解することは重要である。よって、本研究ではノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn 薄膜において磁気光学カー効果を観測し、磁化反転機構について明らかにすることを研究目的とした。

2. 実験方法

DC/RF マグネトロンスパッタリング法にて MgO(110)基板上に、W (2 nm)/Ta (3 nm)/Mn_{3+x}Sn_{1-x} (30 nm)/MgO (1.3 nm)/Ru (1 nm)を成膜することで、(1100) 配向(M 面配向)エピタキシャル薄膜を作製

した⁷⁾。この時、磁区構造の組成依存性について調べるために Mn 組成 x が異なるサンプルも同時に作製した。作製したサンプルは、フォトリソグラフィと Ar イオンミリングによってホール素子に加工し、AHE 測定を行った。極カー測定は、波長 658nm のレーザーを用いてループ測定および磁区観察を行った。

3. 実験結果

図 1 に異なる Mn 組成 x における面直 X 線回折測定の結果を示す。全てのサンプルにおいて D₀19-Mn₃Sn の基本ピークである(2200)と(4400)および

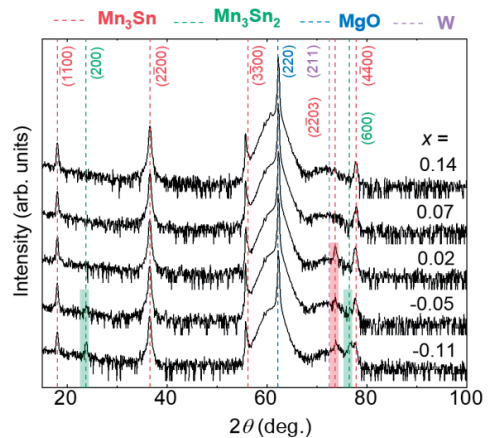


図 1 面直 X 線回折の組成依存性

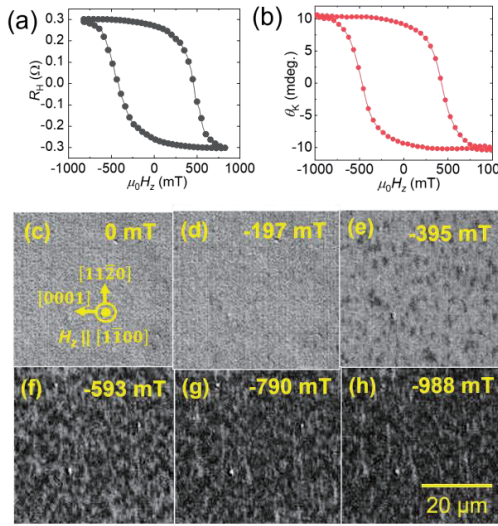


図2 Mn_{3.14}Sn_{0.86} 薄膜における(a)異常ホール抵抗 (b)カー回転角 (c)-(d)反転中の各磁場における MOKE 像

(1100)と(3300)の超格子ピークが観察され、D0₁₉ 構造に規則化していることが確認できた。しかし、 $x \leq 0.02$ では異なる結晶配向や D8-Mn₃Sn₂ のピークが観察された。

図 2(a)、(b)にエピタキシャル薄膜が得られた $x = 0.14$ における異常ホール抵抗とカー回転角のヒステリシスループの結果を示す。それぞれの保磁力は AHE で 426mT、MOKE で 462mT であり、それらに大きな違いは見られなかった。これは、薄膜の表面と内部の磁気特性は大きな違いはなく、磁区が膜面直方向にコヒーレントに反転するというを示している。また、得られた飽和時のカー回転角は約 10 mdeg.で

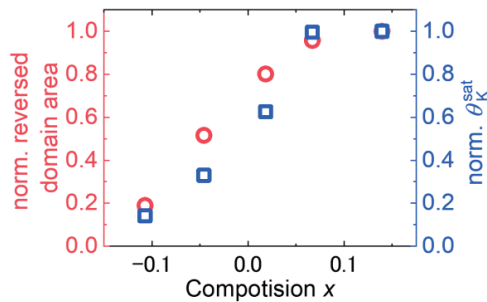


図3 飽和時の反転面積とカー回転角 θ_K^{sat} の組成依存性。それぞれの値は $x = 0.14$ の値で規格化。

あり、バルク単結晶と同等の値を得ることができた。さらに、図 2(c)に反転中の各磁場における MOKE 像を示す。磁場の増加により反転領域が徐々に増加していることが分かる。ここで、核生成磁場付近の図 2(e)を見てみると、分散的に核生成が起こっていることが確認された。さらに、これらの MOKE 像に画像解析を行ったところ、磁壁が[1120]方向に伝播しやすいことが分かった。これは、[1120]方向と[0001]方向の磁壁構造の違いにより、それぞれの磁壁伝播速度が異なっていることが考えられる。

図 3 に異なる Mn 組成 x における飽和時のカー回転角 θ_K^{sat} および反転面積を示す。 θ_K^{sat} と反転面積は Mn 組成 x に比例して増加しており、 θ_K^{sat} の組成依存性が反転面積で説明できることを示している。さらに、面直 X 線回折の結果を考慮すると、M 面エピタキシャル薄膜が得られた $x \geq 0.07$ では θ_K^{sat} が最大になっており、異なる結晶配向や D8-Mn₃Sn₂ のピークが確認された $x \leq 0.02$ では θ_K^{sat} が低下していることが分かった。よって、M 面以外の配向の結晶粒や異なる結晶相の形成は、磁区の反転に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、M 面配向 Mn₃Sn 薄膜において磁気光学カー効果を観測し、その磁化反転機構について調べた。反転中の磁区観察により、磁区の反転が分散的な核生成から始まり、異方的な磁壁伝播によって反転していることが分かった。さらに、磁区構造の組成依存性より、カー回転角は反転した磁区の面積で説明でき、反転面積は異なる結晶相の形成や配向の異なる結晶粒に大きく影響されることを明らかにした。これらの結果より、ノンコリニア反強磁性薄膜のスピ構造を光学的に検出し、磁区・磁壁について重要な知見を得ることができた⁸⁾。

文献

- 1) T. Jungwirth *et al.*, Nat. Nanotechnol. **11**, 231 (2016).
- 2) S. Nakatsuji *et al.*, Nature **527**, 212 (2015).
- 3) A. K. Nayak *et al.*, Sci. Adv. **2**, e1501870 (2016).
- 4) T. Higo *et al.*, Nat. Photonics **12**, 73 (2018).
- 5) H. Tsai *et al.*, Nature **580**, 608 (2020).
- 6) Y. Takeuchi *et al.*, Nat. Mater. **20**, 1364 (2021).
- 7) J.-Y. Yoon *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 013001 (2019).
- 8) T. Uchimura *et al.*, Appl. Phys. Lett., **120**, 172405 (2022).