

X線磁気円二色性によるカイラル反強磁性体 Mn_3Sn 薄膜の研究

X-ray magnetic circular dichroism study of the chiral antiferromagnet Mn_3Sn thin film

坂本祥哉¹, 肥後友也^{1,2}, 志賀雅亘¹, 雨宮健太³, 中辻知^{1,2,4,5}, 三輪真嗣^{1,4}

¹ 東京大学 物性研究所, 〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

² 東京大学 理学系研究科, 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

³ KEK 物質構造科学研究所, 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

⁴ 東京大学トランススケール量子科学国際連携研究機構, 〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1

⁵ ジョンズホプキンス大学 量子物質研究所, 米国 MD 21218 Baltimore, N. Charles St. 3400

Shoya SAKAMOTO¹, Tomoya HIGO^{1,2}, Masanobu SHIGA¹, Kenta AMEMIYA³, Satoru
NAKATSUJI^{1,2,4,5}, Shinji MIWA^{1,4}

¹The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo,
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan

²The Department of Physics, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

³Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization,
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

⁴Trans-scale Quantum Science Institute, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan

⁵ Institute for Quantum Matter and Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University,
Baltimore, Maryland 21218, USA

1 はじめに

Mn_3Sn は Mn からなるカゴメ格子が積層した構造を取り、カゴメ面上の隣り合った Mn のスピンは互いに 120 度回転し、逆三角スピン構造と呼ばれる構造を形成する。従って正味の磁化は、微小なスピントによる成分だけとなり、強磁性体に比べると無視できるほど小さい。この微小磁化にかかわらず、 Mn_3Sn は強磁性体に匹敵する異常ホール効果[1]や異常ネルンスト効果[2]、磁気光学カー効果[3]を示すことが報告され、近年盛んに研究されている。

X線磁気円二色性 (XMCD) という手法は、元素ごとの正味のスピント軌道磁気モーメントを検出する手法であり、強磁性体やフェリ磁性体の研究に盛んに用いられてきた。一方で、 Mn_3Sn は反強磁性体であり、直感的には XMCD 信号は生じないと思われるが、最近、XMCD が検出する磁気双極子項を通して有限の XMCD スペクトルが得られうるという理論予測がなされた[4,5]。

本研究では、 Mn_3Sn エピタキシャル薄膜に対し XMCD 実験を行い、逆三角スピン構造に由来する XMCD 信号が検出されるか検証した[6]。

2 実験

Mn_3Sn エピタキシャル薄膜は分子線エピタキシー法を用いて成膜した。サンプル構造は MgO (110) 基板/W (15 nm)/ Mn_3Sn (40 nm)/MgO (3 nm)であった。 Mn_3Sn はカゴメ面内の[1-100]方向が薄膜の面直方向を向いていることを X 線回折により確かめた。

XMCD 測定は Photon Factory のビームライン BL-16A2 で行った。測定温度は室温、磁場は 5 T まで印加した。

3 結果および考察

図 1(a) と図 1(b)に得られた X 線吸収(XAS)スペクトルと 0.1 T と 5 T で測定された XMCD スペクトルを示す。XAS スペクトルは磁場によらず同じ形状を示した。一方で、XMCD スペクトルは、強度だけでなく、形状も強く磁場に依存することがわかった。 Mn_3Sn の XMCD は、磁場に比例するスピントによるスピン成分と磁場に依存しない逆三角スピン構造がもつ磁気双極子項成分とに分離することができるはずである。そこで、磁場に依存しない項が存在するか確かめるために、5 T と 0.1 T の XMCD スペクトルの差分をとり、その差分スペクトルを図

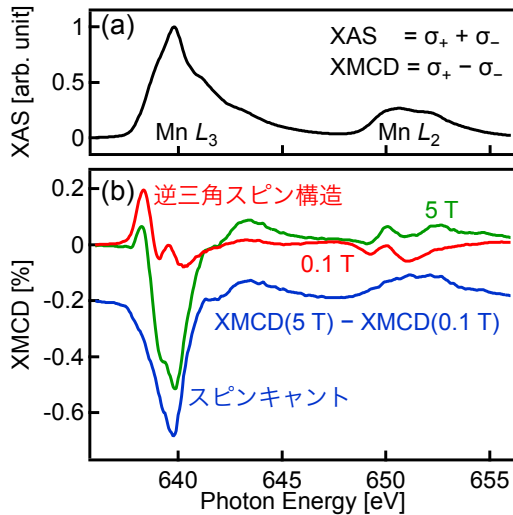


図 1 (a) X 線吸収スペクトル。(b) 0.1 T と 5 T で測定された XMCD スペクトル。

1(b)に青線で示す。この差分のスペクトルには 0.1 T で見られたような複雑なマルチピーク構造は見られず、ブロードなシングルピーク構造を示した。これは、通常の強磁性金属で見られる XMCD スペクトルの特徴であり、スピントによる残留スピに由来することを示唆している。逆に、0.1 T で見られた磁場に依存しない複雑なマルチピーク構造を持つ XMCD スペクトルは、 Mn_3Sn の逆三角スピ構造が起源であると結論できる。

4 まとめ

本研究では、逆三角スピ構造を持つ Mn_3Sn 薄膜を成膜し、XMCD 測定を行った。得られた XMCD スペクトルは磁場に比例する成分と磁場に依存しない成分を持つことがわかった。前者は、スピントによる残留スピに、後者は、逆三角スピ構造の持つ磁気双極子項に起因すると結論した。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (JP18H03880, JP19H00650, JP20K15158)、JST CREST (JPMJCR18T3)、JST 未来社会創造事業 (JPMJMI20A1)、スピントロニクス学術連携研究教育センター、DOE (DE-SC0019331)からの助成を受けたものである。また RIKEN の近藤浩太氏との有益な議論に感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Nakatsuji *et al.*, Nature **527**, 212 (2015).
- [2] M. Ikhlas *et al.*, Nat. Phys. **13**, 1085 (2017).
- [3] T. Higo *et al.*, Nat. Photonics **12**, 73 (2018).
- [4] Y. Yamasaki *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn **89**, 083703 (2020).
- [5] N. Sasabe *et al.*, Phys. Rev. Lett. **126**, 157402 (2021).
- [6] S. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **104**, 134431 (2021).