

放射光 XAFS 測定によるアモルファス Fe-Sn 合金薄膜中の短距離秩序の評価 Evaluation of the short-range order in amorphous Fe-Sn thin films by synchrotron XAFS measurement

藤原 宏平

東北大学金属材料研究所

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

Kohei Fujiwara*

Institute for Materials Research, Tohoku University

2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

1 はじめに

近年、非自明なバンド構造をもつトポロジカル物質群で生じる物性が注目を集めている。特に、試料全体に三次元的に広がった線形分散と磁気秩序をあわせもつ磁性ワイル半金属やノーダル線半金属は、大きな異常ホール効果や異常ネルンスト効果を示す。これらの効果は、それぞれ磁気センサや熱流センサの原理になりうることから、基礎と応用の両面から盛んに研究が進められている。著者らのグループでは、 Fe_3Sn_2 バルク単結晶における大きな異常ホール効果の報告 [1] を受けて、Fe-Sn 合金薄膜の合成と物性評価に取り組んできた。室温スパッタリング蒸着により作製した薄膜試料において、試料の大部分に結晶の長距離秩序が存在しないにもかかわらず、バルク単結晶と同等の異常ホール効果が生じることを見出し、薄膜試料の利点を生かした各種デバイスへの応用を提案してきた [2-4]。本研究では、大きな異常ホール効果の起源解明に向けて、室温成膜試料中の短距離秩序を EXAFS により評価した。ガラス基板上に蒸着することで、試料全体がほぼアモルファスの薄膜を作製し、局所構造と磁気輸送特性を評価・比較した。

2 実験

スパッタリング蒸着により作製した Fe-Sn カゴメ格子化合物 FeSn , Fe_3Sn_2 , Fe_3Sn の結晶性薄膜（高温蒸着）とアモルファス薄膜（室温蒸着）を用いて、BL-9A で Fe K-edge XAFS 測定、NW-10A で Sn K-edge XAFS 測定を行った。

3 結果および考察

図 1 に、カゴメ格子反強磁性体 FeSn の結晶性薄膜（青線）と、それと組成は同等であるが、X 線回折測定および透過型電子顕微鏡観察では結晶の特徴を示さなかったアモルファス $\text{Fe}_{0.52}\text{Sn}_{0.48}$ 薄膜（黒線）の Fe K-edge EXAFS スペクトルを示す。バルクのカゴメ格子の結晶構造を仮定したフィッティング

（赤線）は、アモルファスの結果を良く再現した。これは、最近接原子間距離程度ではカゴメ格子の特徴が維持された短距離秩序が存在することを示唆している。カゴメ格子強磁性体 Fe_3Sn_2 および Fe_3Sn の評価についても、短距離秩序の存在を示唆する同様の結果を得た。これらのアモルファス薄膜は、バルク単結晶に匹敵する大きな異常ホール効果および異常ネルンスト効果を示した。その起源を明らかにすべく、EXAFS 解析から得られた局所構造パラメータを、模型計算の専門家に提供し、短距離秩序を有するアモルファスを取り扱うための新たな理論模型の構築に役立てた。これらの結果をまとめて、アモルファス薄膜中の短距離秩序が寄与することで、トポロジカル物質の結晶で議論されている内因性メカニズム（ベリー曲率由来）と同様の機構で大きな異常輸送現象が生じていることを提唱した。

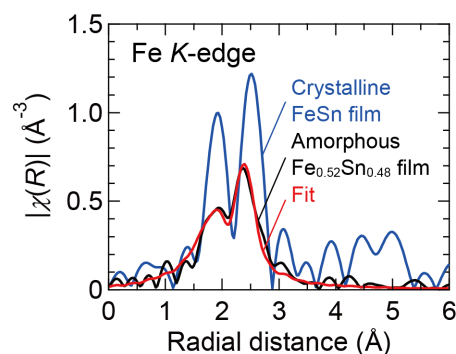


図 1 : Pt(111)バッファ層/ $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 基板上に作製した結晶性 FeSn 薄膜とガラス基板上に作製したアモルファス $\text{Fe}_{0.52}\text{Sn}_{0.48}$ 薄膜の Fe K-edge EXAFS スペクトル。FeSn カゴメ格子結晶構造を仮定したフィッティングを赤線で示す。

4 まとめ

EXAFS によりアモルファス薄膜中にカゴメ格子の短距離秩序が存在することを明らかにしたことで、

理論模型の構築が進み、大きな異常ホール効果と異常ネルンスト効果の起源解明につながった。今後は、このスキームを他のアモルファス薄膜の評価に活用し、優れた電子機能性をもつトポロジカル物質群を汎用性に優れたアモルファス薄膜として用いるための学理構築に取り組んでいきたい。

謝辞

本研究は、JST-CREST および熱・電気エネルギー技術財団からの支援を受けたものです。ここに感謝致します。

参考文献

- [1] L. Ye *et al.*, *Nature* **555**, 638 (2018).
- [2] I. Y. Satake, K. Fujiwara, J. Shiogai, T. Seki, and A. Tsukazaki, *Scientific Reports* **9**, 3282 (2019).
- [3] J. Shiogai, K. Fujiwara, T. Nojima, and A. Tsukazaki, *Communications Materials* **2**, 102 (2021).
- [4] 藤原 宏平, 塩貝 純一, 塚崎 敦, 応用物理 **92**, 20–24 (2023).

成果

1. 藤原 宏平 他、強磁性 Fe-Sn アモルファス薄膜の異常ネルンスト効果、第 144 回金属材料研究所講演会、ポスター発表 P40 (東北大学、仙台市)
2. K. Fujiwara *et al.*, *Nature Communications* **14**, 3399 (2023).
3. プレスリリース「バンドトポロジーの性質、アモルファス薄膜で発見」
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2023/06/pres20230614-01-amorphous.html>
東北大学、東京大学、高エネルギー加速器研究機構、JST の共同プレスリリース

* kohei.fujiwara@tohoku.ac.jp