



低温熱処理によるナノ結晶軟磁性前駆体の短距離秩序化の調査

佐野 光哉¹, 岡 智絵美¹, 櫻井 淳平¹, 山崎 貴大², 秦 誠一¹

1 名古屋大学, 2 東京理科大学

キーワード：ナノ結晶材料, 磁歪材料, 軟磁性材料, 振動ハーベスタ

1. 背景と研究目的

IoT センサの自立電源として注目される磁歪式振動ハーベスタ^[1]への応用に向け、我々は Ga 添加 Fe 系ナノ結晶合金の磁歪特性に関する研究を進めている^[2]。先行研究では、Ga の添加により磁歪定数が一度増大した後、高添加領域で再び低下する傾向が示された。本実験では、Ga 添加量の増大により観察される磁歪特性の劣化要因の一端を明らかにするため、短距離秩序構造に着目し、成膜直後および低温熱処理後におけるナノ構造の変化を GI-SAXS により調査した。

2. 実験内容

本研究で用いるサンプルは、厚さ 150 μm の Si 基板上に RF マグネトロンスパッタ装置によって成膜し、各条件で熱処理することにより作製した。サンプル組成は Fe-M-Si-B-P-C-Cu ($M = \text{Ga}$) であり、Ga 添加量は 0–30 at.% とした。熱処理条件は、それぞれの組成における結晶化開始温度、 T_a を基準に、 T_a , $1.05 \times T_a$, $1.1 \times T_a$, $1.15 \times T_a$ で実施した。

作製したサンプルは、斜入射小角 X 線散乱法 (GI-SAXS) により小角散乱実験を実施した。侵入深さがサンプル膜厚と同程度になるよう、各測定条件を設定し、測定データはイメージングプレート検出器により二次元で取得した。二次元散乱像を取得後、一元化ソフトにより q 方向積分を行った。

3. 結果および考察

Ga 添加量が 0 at.% および 30 at.% のサンプルを比較した。 $q \approx 2.0 \text{ nm}^{-1}$ 付近における散乱強度は、Ga 0 at.% 試料で高く、成膜直後から比較的秩序化された構造が存在することが示唆された。これに対し、Ga 30 at.% 試料では同領域の散乱が弱く、アモルファス安定性が高まっている可能性がある。

また、高 q 領域 ($q \approx 20 \text{ nm}^{-1}$) においては、Ga 30 at.% サンプルにのみ、 $L1_2$ 型 Fe_3Ga 構造に起因する結晶性ピークが確認された。これは、Ga 高添加により自発的に規則合金が析出することを示唆し、磁歪特性への寄与も含め、今後さらなる構造-物性相関の検討が必要である。

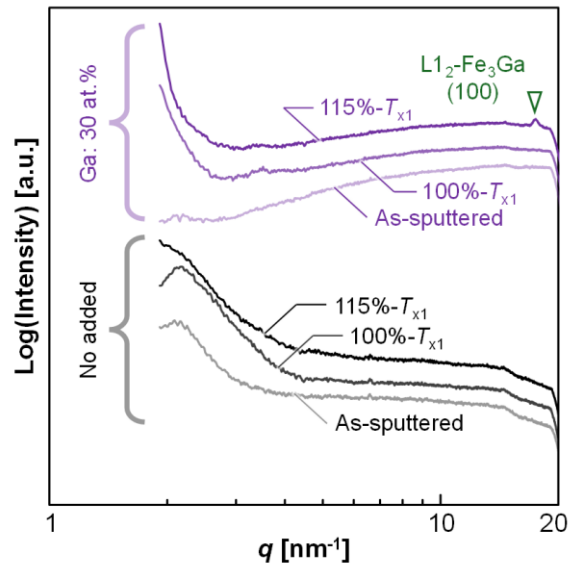


Fig. 1 GI-SAXS profiles of samples without Ga and with 30 at.% Ga addition. The data shown correspond to the as-sputtered, T_a , and $1.15 \times T_a$ annealed samples.

4. 参考文献

1. Zhangxian Deng and Marcelo J Dapino, *Smart Materials and Structure*, Vol.26 (2017) 103001.
2. Kohya Sano et al., *Scripta Materialia*, Vol. 242 (2024) 115956.