

塑性変形した Pt₃Fe 反強磁性体における強磁性ナノドメインの 磁氣的形態

Magnetic morphology of ferromagnetic domains for a plastically deformed Pt₃Fe antiferromagnet

小林 悟¹⁾ 三上 翔也¹⁾ Bekhbaatar Enkhmend¹⁾ 廣井 孝介²⁾

熊田 高之²⁾ 元川 竜平²⁾

Satoru KOBAYASHI

Shoya MIKAMI

Bekhbaatar ENKHMEND

Kosuke HIROI

Takayuki KUMADA

Ryuhei MOTOKAWA

¹⁾岩手大学

²⁾原子力機構

(概要)

11.6%の引張塑性歪みを加えた Pt₃Fe 規則合金について、偏極中性子小角散乱実験を行い、塑性歪みにより形成した強磁性ナノドメインの磁氣的形態の磁場依存性を調べた。強磁性ナノドメインの磁化の磁場方向成分を反映する小角散乱強度のギニエ解析から、磁場を 1T から減少すると、特に-0.5T 以下で強磁性ナノドメインサイズが急激に減少することが分かった。

キーワード：規則合金，反強磁性体，中性子小角散乱，磁区

1. 目的

L1₂型規則合金 Pt₃Fe は $T_N=170$ K 以下に $q_M=(1/2 \ 1/2 \ 0)$ 型の磁気秩序相を持つ反強磁性体であるが、僅かな塑性歪みにより室温でも強磁性を示す[1]。塑性変形により、すべり面の FCC {111} 面近傍に形成した強磁性ナノドメインが強磁性発現の要因と推測されるが、自発磁化を説明するには、すべり面近傍のみでなく、10~20 原子層（~5nm）の範囲で強磁性ナノドメインが形成している可能性が示唆されている。一方、我々の磁化測定から、①飽和磁化が T_N 以下で急激に増大すること、② T_N 以下で交換結合が現れ、交換結合磁場が温度の低下および塑性歪みと共に顕著に増大すること[2]、③磁気エントロピー変化が T_N で最大値を持ち、塑性歪みとともに増加すること[3]、が見出されており、強磁性ナノドメインと反強磁性マトリクス間の磁氣的相互作用の存在が強く示唆される。本研究では、塑性変形した Pt₃Fe 単結晶の偏極中性子小角散乱 (SANS)により、強磁性ナノドメインの磁氣的形態（形、サイズ）の磁場依存性を調べ、交換結合などの磁氣的性質との相関を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

[001]方向に歪み 11.6%で引張変形した Pt₃Fe 単結晶試料を使用した。サイズ約 $2 \times 1 \times 10 \text{ mm}^3$ に切り出した棒状試料を4本、アルミニウムセルに並べて固定・封入した。[001]方向が磁場方向になるようにセルを冷凍機にマウントし、温度 $T=10$ K、磁場4条件 ($B = 1, 0.5, -0.5, -1 \text{ T}$) で偏極中性子小角散乱実験を行った。SANS 実験は、JRR-3 ガイドホールに設置の集光型偏極中性子超小角散乱装置 SANS-J-II を用いた。中性子スピンの偏極方向が印加磁場方向に対して上向き(+), 下向き(-)の場合の散乱強度 $I(Q)$, $I(Q)$ を測定した。

3. 結果及び考察

図1に $T=10\text{K}$ における $I_{\text{diff}}(Q) = I(Q) - I'(Q)$ の磁場依存性を示す。 $I_{\text{diff}}(Q)$ は磁場方向に対して垂直方向の Q の周りで $\pm 20^\circ$ の角度範囲で円弧平均した強度であり、磁場方向の強磁性成分を反映している。全ての磁場において、 $Q < 0.3 \text{ nm}^{-1}$ で $I_{\text{diff}}(Q)$ に有意な強度が現れ、その傾きは $Q < \sim 0.1 \text{ \AA}^{-1}$ で Q^{-4} から外れ、緩やかになることが分かった。この振る舞いは前回の予備実験結果と一致する。図2に、ギニエプロットから求めた強磁性ナノドメインサイズの磁場依存性を示す。ここでは球状の散乱体を仮定した。磁場 $B = 1 \text{ T}$ では強磁性ドメインサイズは約 82 nm であるが、磁場の低下とともにサイズは若干減少し、 -0.5 T 以下で急激に減少した。磁場が $[001]$ 方向の場合の保磁力が -0.3 T 程度であることを考慮すると[2]、この結果は、 $(-)$ 方向の磁場により強磁性ナノドメイン内の磁化が反転後、磁場方向の強磁性相関が磁場とともに減少することを示唆している。

今回の実験では、冷凍機のヒーター不調により最低温 $T=10\text{K}$ のみの測定となった。今後は、交換結合や磁気エントロピーの発現機構との関わり合いを更に詳しく調べるため、 T_N を挟んだ複数の温度での SANS 実験を検討したい。

4. 引用(参照)文献等

- [1] G.E. Bacon and J. Crangle, Proc. Roy. Soc. (London) A272 (1963) 387.
- [2] S. Kobayashi *et al.*, IEEE Trans. Mag. 44 (2008) 4225; S. Kobayashi *et al.*, J. Appl. Phys. 117 (2015) 17D120.
- [3] S. Kobayashi and Y. Hotta, AIP Advances 13 (2023) 095211.

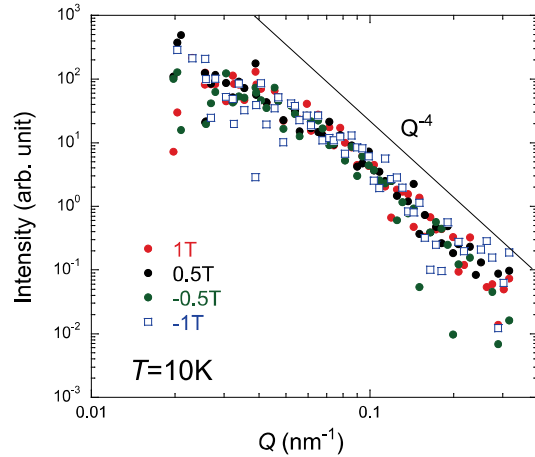


図1. 磁場方向に垂直な Q 方向における $I(Q) - I'(Q)$ 。温度は 10K ，磁場は 1T と -0.2T 。

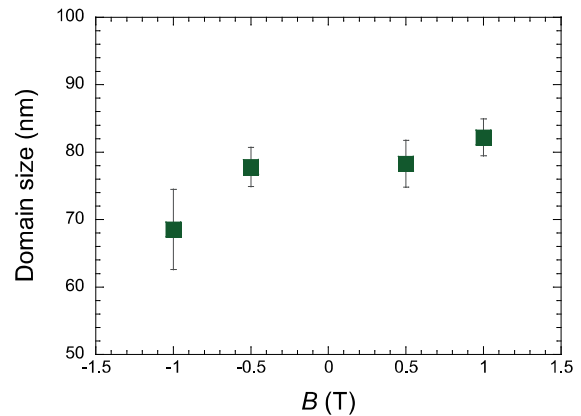


図2. ギニエプロットから求めた $T=10\text{K}$ における強磁性ナノドメインサイズの磁場依存性