

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⁾ 中野 愛弓¹⁾ リ カイ¹⁾ 廣井 孝介²⁾

熊田 高之²⁾ 元川 竜平²⁾

Satoru KOBAYASHI Ayumi NAKANO Hui LI 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、歪み誘起強磁性ドメインの形態評価を行った。最低温 $T=10\text{K}$ における強磁性ドメインの磁化の磁場方向成分の解析から、強磁性ドメインサイズが約 100nm であること、磁場の減少とともにドメインサイズが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 $T_N=170\text{ K}$ 以下に $q_m=(1/2\ 1/2\ 0)$ 型の反強磁性秩序相を持つが[1], 1.3%程度の僅かな塑性歪みを加えただけで、室温でも強磁性を示すことが知られている[2]。塑性変形により、すべり面である FCC {111}面上に逆位相境界が形成し、最近接 Fe 原子対が生ずることから、この強磁性の出現は最近接強磁性交換相互作用による強磁性ナノドメイン形成によると考えられている。しかし、自発磁化の絶対値を説明するには逆位相境界近傍のみでなく、10~20 原子層 (~5nm) の範囲で強磁性ナノドメインが形成され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、飽和磁化が T_N 以下で急激に増大するとともに、磁化曲線の形状が磁場方向に強く依存することが明らかになった。更に、① 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[3, 4], ②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[5], を見出した。この結果は、強磁性ナノドメインと反強磁性相間の磁氣的相互作用の存在を強く示唆している。

本研究では、偏極中性子小角散乱 (SANS)実験により、塑性変形した Pt₃Fe 単結晶における強磁性ナノドメインの磁氣的形態 (形, サイズ) とその磁場強度依存性を明らかにすることを目的とする。今回は特に、交換結合や磁気熱量効果の発現にカギを握る反強磁性秩序温度 T_N 以下での磁氣的形態変化に着目する。

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 $T=10\text{K}$ 、最大磁場 1T の条件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 $T=10\text{K}$ 、磁場 1T 及び -0.2T における偏極中性子に依存した散乱強度 $I_{\text{diff}}(Q) = I(Q) - I'(Q)$ 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 $\pm 20^\circ$ の角度範囲で円環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。 $Q < 0.03 \text{ \AA}^{-1}$ の領域で $I_{\text{diff}}(Q)$ に有意な強度が現れ、その傾きは $Q < 0.01 \text{ \AA}^{-1}$ で緩やかになることが分かった。特に、磁場 1T では傾きの変化は $Q \sim 0.005 \text{ \AA}^{-1}$ 付近で起こるが、磁場 -0.2T では $Q \sim 0.008 \text{ \AA}^{-1}$ 近傍で起こることが分かった。この結果は、磁場 1T でサイズ約 130nm の強磁性ナノドメインが、磁場を -0.2T まで減少させると約 80nm まで小さくなると解釈できる。

今回の実験では、最低温 $T=10\text{K}$ のみの測定であったが、 $\{111\}$ 面近傍の強磁性ドメインのサイズが磁場によって変化することが実験的に明らかになった。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 実験を計画している。

4. 引用(参照)文献等

- [1] G.E. Bacon and J. Crangle, Proc. Roy. Soc. (London) A272 (1963) 387.
- [2] S. Takahashi, Y. Umakoshi, J. Phys.: Condens. Matter 2 (1990) 2133.
- [3] S. Kobayashi et al., IEEE Trans. Mag. 44 (2008) 4225.
- [4] S. Kobayashi et al., J. Appl. Phys. 117 (2015) 17D120.
- [5] S. Kobayashi and Y. Hotta, AIP Advances 13 (2023) 095211.

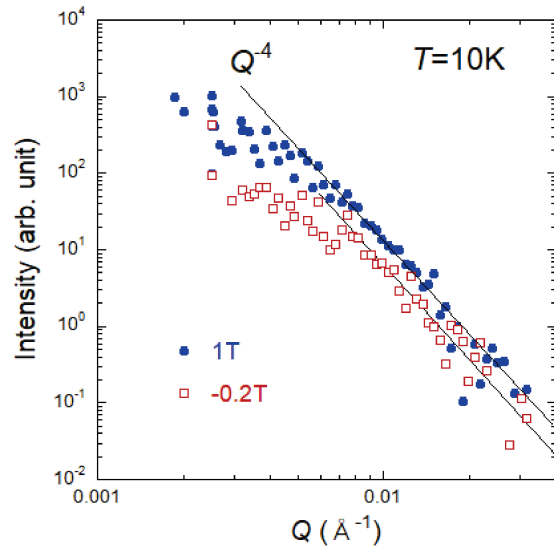


図 1. 磁場方向に垂直な Q 方向における $I(Q) - I'(Q)$ 。温度は 10K 、磁場は 1T と -0.2T 。