

中性子小角散乱によるパワーエレクトロニクス用軟磁性材料の磁気構造解析

Magnetic structural analyses of soft magnets using small angle neutron scatterings

間宮 広明¹⁾ 大場 洋次郎²⁾ 大久保 忠勝¹⁾
Hiroaki MAMIYA Yojiro OBA Tadakatsu OHKUBO

¹⁾物質・材料研究機構 ²⁾原子力機構

(概要)

2050年までの二酸化炭素ネット排出量ゼロ（カーボンニュートラル）を実現するには、パワーエレクトロニクス開発のボトルネックでとなっているインダクタの飛躍的性能向上が望まれている。我が国で開発された FeCuSiB 系のナノ結晶軟磁性材料のメソスケールにおける磁気構造を明らかとするため、2021年度の原子力機構施設供用利用制度を利用して、研究用原子炉 JRR-3 に設置された集光型偏極中性子超小角散乱装置 SANS-J-2 を用いて中性子小角散乱実験を行った。その結果、この材料では、熱処理によって、斜め方向に強度を持つクローバー型の異常な散乱強度分布が現れることがわかった。これは、このナノ結晶軟磁性材料が単純な強磁性ではなく、メソスケールでの磁気構造揺らぎを持っていることを示している。

キーワード：ナノ結晶軟磁性材料、中性子小角散乱、パワーエレクトロニクス

(1行あける)

1. 目的

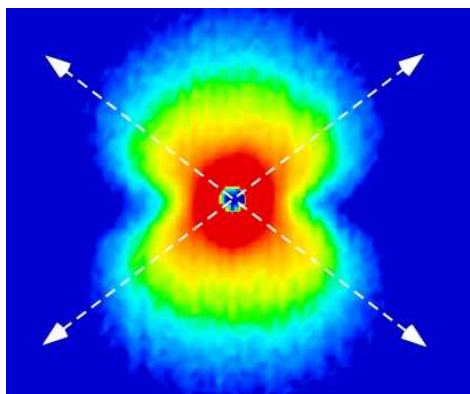
現在、パワーエレクトロニクスの分野では電気自動車やスマートシティの社会実装を目指して効率的な電力変換を実現すべく、トランス/インダクタの高周波発熱の低減が喫緊の課題となっている。そこで、内部のナノ構造を調整して高周波化に対応することが大きな課題となっており、いくつかの革新的なナノ結晶軟磁性材料が開発されてきた。それらの中性子小角散乱を計測してみるとクローバー型の異常な散乱強度分布の異方性が得られ、いずれも当初期待されたような「全ての磁気モーメントの向きが揃った単純な強磁性ではなく、メソスケールでの磁気構造揺らぎを持っている」ことがわかってきた。こうした成果をもとに、欧州を中心に新たな磁気特性制御に向けた研究が進んでいる。そこで、本課題では、こうしたメソスケールでの磁気構造揺らぎが我が国で開発された FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料にも存在するかを明らかとし、その知見から新たな特性向上の手掛かりを明らかとするために、その中性子小角散乱の計測を行った。

2. 方法

測定試料には、(株)東北マグネットインスティテュートから提供された FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料 NANOMET®の急冷薄帯を、そのままの状態及び 375°C、400°C及び 425°Cで5分間熱処理した薄帯を用いた。X線回折からは、急冷薄帯はアモルファス構造であるのに対して、375°Cで鉄のナノ結晶化が始まり、続いて 425°Cでは第2相の結晶化も進んでいることがわかった。これらの試料を概ね 20枚束ね、研究用原子炉 JRR-3 に設置された集光型偏極中性子超小角散乱装置 SANS-J-2 で中性子小角散乱を測定した。測定は室温で実施し、電磁石を用いて零磁場から 1T までの磁場中でその変化を観察した。

3. 結果及び考察

第一図に、SANS-J-2 の2次元検出器で捉えられた 375°Cで5分間熱処理したナノ結晶軟磁性薄帯に水平方向に 0.4 T の磁場を印加した際の散乱強度分布を示す。この図から明らかなように、熱処理された薄帯は、斜め方向に強い強度を示す散乱強度分布を持つことがわかった。一方、熱処理を行わなかったアモルファス構造を示す薄帯ではこうした振舞は磁場を印加しても観測できなかった。磁場印加によって薄帯が一樣に磁化された場合には中性子は磁場に垂直な方向に最も強く散乱されるので、この斜め方向への散乱はそうした通常の強磁性モデルでは説明できないことがわかる。言い換えれば、ナノ結晶が生じた薄帯にはメソスケールでの磁気構造揺らぎがあることがわかる。こうした特徴は、他のナノ結晶軟磁性材料と共通するものであり、さらに解析を進めれば、ナノ結晶軟磁性材料の特性制御に関する知見が明らかとなり、その性能向上の指針につながると考えられる。



第一図 水平方向に磁場を印加したときの FeCuSiBP 系ナノ結晶軟磁性材料の中性子小角散乱強度分布

4. 引用(参照)文献等

- [1] Michels et al. Phys. Rev. B 74 (2006) 134407.