

# 中性子/X線小角散乱によるパワーエレクトロニクス用 ナノ結晶磁性材料のコントラストバリエーション解析

Study on Nanocrystalline Magnetic Materials for Power Electronics using Contrast  
Variation Analysis of Small-Angle Neutron/ Small-Angle X-ray Scattering

間宮 広明<sup>1)</sup> ガウタム ラビ<sup>2)</sup> 平本 尚三<sup>1)</sup>  
Hiroaki MAMIYA Ravi GAUTAM Shozo HIRAMOTO

<sup>1)</sup>物質・材料研究機構 <sup>2)</sup> 東北大学

## (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ま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、2023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 を用いて磁場中での中性子小角散乱実験を行った。その結果、高真空熱処理されたナノ結晶軟磁性材料でもメソスケールで磁気構造を持つことが確認された。

**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. 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。我が国で開発された FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料について、それらの中性子小角散乱を計測してみると特異な散乱強度成分が得られ、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」ことが示唆された。ただし、このことを IEEE Magnetics Letters 14 (2023) 7100105 で公表すると、その起源が、大気中熱処理により生じる表面酸化物なのではないかとの指摘があった。そこで、本課題では、アルゴンガス中で同様に熱処理された試料について、零磁場中/磁場中で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、ベース真空度  $1 \times 10^{-3}$  Pa の高純度アルゴンガス中で熱処理した薄帯を用いた。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 1 テスラまでの磁場中でその変化を観察した。

## 3. 結果及び考察

SANS-J-2 の 2 次元検出器で捉えられたアルゴンガス中熱処理後のナノ結晶軟磁性薄帯の小角散乱強度は、零磁場中で大気中熱処理試料と同様の散乱ベクトル依存性を示した。また、それらは磁場を加えると消失するため、磁場で変化しない核散乱成分ではなく磁気散乱によるものと考えられた。これらの結果から、メソスケールでの磁気構造揺らぎは、表面酸化物由来ではなく、FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料の本質であることがわかった。