

拡張型ランダウ自由エネルギーモデルに基づく YIG の保磁力メカニズムの解析

Analysis of the coercivity mechanism of YIG based on the extended Landau free energy model

東理大基礎工¹, 物質・材料研究機構²○(B4)増澤 賢¹, (P)Alexandre Lira Foggiatto¹,

三俣 千春², 小嗣真人¹

Tokyo Univ. of Science¹, ○Masuzawa Ken¹, Alexandre Lira Foggiatto¹,

Chiharu Mitsumata², Masato Kotsugi¹

E-mail: 8217085@ed.tus.ac.jp

電気自動車の急速な普及を背景に、モーターのエネルギー変換効率を決定付ける保磁力メカニズムの理解が求められている。保磁力は磁化反転におけるエネルギー地形の鞍点と関係づけられるが、従来のランダウ理論は平均場を前提としているため、実材料の保磁力を説明することができなかった。特に、微視的な磁区構造と巨視的な磁気ヒステリシスの関係性が未構築であることが原因で、保磁力メカニズムは未だ完全に理解されていない。

そこで本研究では、磁区構造の不均一性を取り扱いながら、磁化反転現象を説明可能な、「拡張型ランダウ自由エネルギーモデル」の設計を試みた。開発では実材料への応用を踏まえ、磁区構造からの磁気自由エネルギー推定を行った。さらにパーシステントホモロジー(PH)による特徴抽出と、主成分分析(PCA)による大規模データの次元削減を行い^[1], 得られたデータを融合してエネルギー地形を描画した。実験は、異なる膜厚を持つ単結晶 Bi 置換鉄ガーネット(YIG)を対象に、Kerr 顕微鏡を用いて磁区構造の垂直磁場依存性をデータ取得した。各々の磁区構造から、ハイゼンベルグモデルに基づいて交換エネルギーを算出した。また PH 解析により特徴抽出を行い、主成分分析を用いて 2 次元に次元削減することで、磁区構造と磁化反転過程と交換エネルギーの対応関係を可視化した。

Fig.1 は、3 種類の YIG の磁区構造データから得られた自由エネルギー地形である。PC1 と PC2 は互いに直交する基底であり磁区構造の微細組織の特徴を表している。いずれの試料でも飽和、核生成、保磁力の磁化反転に伴って連続的にデータ点が分布しており、また交換エネルギーも連続的に変化していることが確認できる。さらに保磁力は PC1 のみで表現できており、交換エネルギーの極大値に対応していることも明らかとなった。PC1 のローディングを用いて元の磁区構造への可視化を行った結果、保磁力で形成されるトポロジカル欠陥に一致することが分かった。

[1] T. Yamada and M. Kotsugi et al., Vac. Surf. Sci. 62, (2019) 15

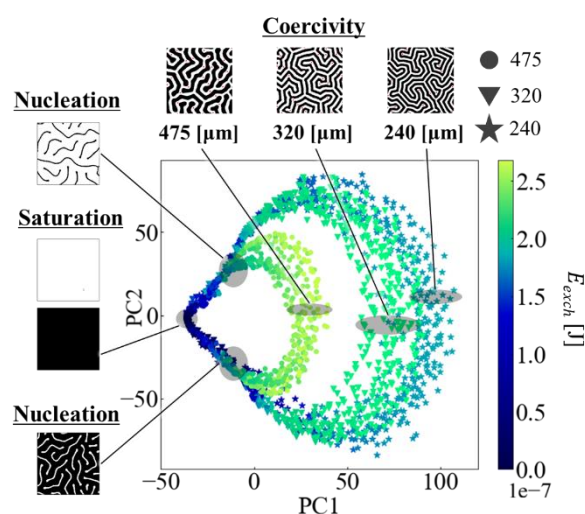


Fig1. Expanded Landau Free Energy model