

永久磁石材料における磁化反転素過程の検出と磁化反転機構解析

P24

Detection and analysis of elemental magnetization reversals of a permanent magnet

岡本 聡 satoshi.okamoto.c1@tohoku.ac.jp

東北大学 多元物質科学研究所

磁化反転ならびに保磁力機構は永久磁石材料におけるもっとも基本的な性質であるが、それらの物理的理解は未だに十分とは言えないのが現状である。永久磁石の磁化曲線は、熱活性によって誘起された膨大な数の磁化反転イベント(反転核生成、磁壁デピニング、磁壁伝搬)が同時多発的に進行した結果であり、その解析にはおのずと限界があると言えよう。一方、近年の計算機科学の飛躍的な進展により、原子論に基づいた熱活性反転核生成の描像を得ることに成功したが[1]、現状では単一の磁化反転素過程の計算に留まっている。

以上の現状を鑑み、本研究では永久磁石材料の磁化反転素過程計測を試みた。そのためには、個々の磁化反転素過程を分離して実測できるサイズ領域にまで永久磁石材料を微細加工し、それを超高感度に計測する技術が必要となる。ところが、一般の Nd-Fe-B 焼結磁石では、加工ダメージにより磁気特性が著しく低下することが知られている。この課題に対し、我々は Nd-Fe-B 熱間加工磁石を用いた[2]。本材料は、重希土類フリー磁石としてハイブリッド自動車に実際に採用されているもので、約 300 nm 径、80 nm 厚の扁平粒子からなる微細組織を有し、一般的な Nd-Fe-B 焼結磁石に比べて 1/10 以下の粒子サイズである。この微細な粒子サイズのため、微細加工時における加工ダメージの影響が小さいことが期待される。次に、超高感度磁気計測は異常 Hall 効果(AHE)を用いることを検討した。

丹念に加工ダメージの影響を調べ、加工ダメージの影響が最も少なくなる加工手法を工夫した結果[3]、最終的に機械研磨と FIB 加工の組み合わせにより図の SEM 像に示すように、厚み 0.5 μm 、幅 0.9 μm のクロスパターンを作製することが出来た。c 軸は面垂直方向であり、クロスパターン内部に約 60 個の Nd-Fe-B 粒子が存在する。この試料に対して AHE 測定を行うことで、クロスパターン内部の粒子毎の磁化反転信号を計測することに成功した。その一例を図の左側に示す。図では 50 回の繰り返し測定結果をまとめて表示している。明瞭なステップパターンが計測されており、ステップ高さは粒子 1 個分の磁化反転信号に対応することを確認した。また、このステップパターン形状は繰り返し計測においても良好な再現性を確認することができ、試料サイズをミクロンスケールとすることで、反転パスが良好な繰り返し再現性を有することも確認できた。各ステップ状信号の反転磁場は繰り返し計測において 0.1 T 程度の揺らぎを持っており、

Néel-Arrhenius 型の分布曲線で良く再現できる挙動であることが分かった。つまり、この反転磁場分布は単一粒子磁化反転の熱揺らぎを計測したものであると結論出来る。熱揺らぎ解析により、熱活性磁化反転のエネルギー障壁高さなどを評価することが出来る。多数のステップパターンや磁気特性の異なる磁石試料についての解析を進めた結果、磁化反転はナノスケールでの反転核生成が起点となっており、その反転核生成は粒界での交換結合や粒子表面の磁気特性強く依存することが分かった。

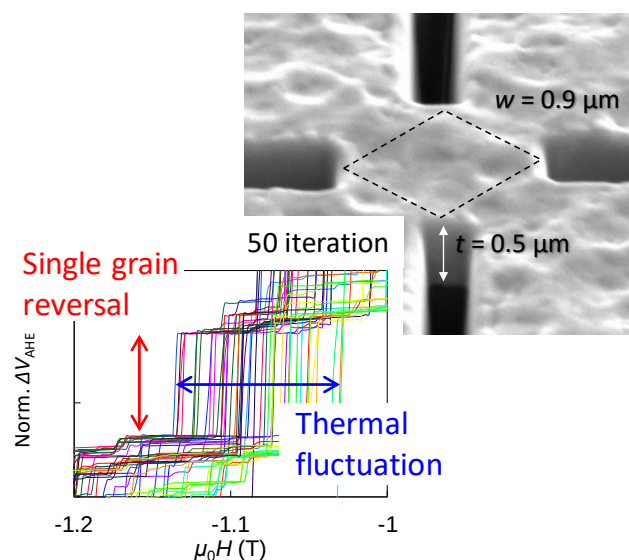


図 機械研磨と FIB により作製した Nd-Fe-B 熱間加工磁石のマイクロ AHE 素子の SEM 像(右)ならびにその AHE 測定による単一粒子磁化反転の一例(左)

【共著者(所属)】

蓬田貴裕 (東北大)・菊池伸明 (東北大)・北上修 (東北大)・
H. Sepehri-Amin (NIMS)・大久保忠勝 (NIMS)・宝野和博 (NIMS)
日置敬子 (大同特殊鋼)・服部 篤 (大同特殊鋼)

【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>磁性材料拠点

【参考文献】(最大3本)

- [1] S. Miyashita et al., Scripta Mater. 154, 259 (2018).
- [2] K. Hioki et al. J. Mag. Soc. Jpn. 38, 79 (2014).
- [3] T. Yomogita et al., AIP Adv. 9, 125052 (2019).