

磁石内部の磁化反転過程における反磁場の効果

塚原宙、井波暢人、岩野薫、三俣千春¹、小野寛太
(高エネ研,¹ 物材機構)

Theoretical study of dipole field effects for reversal process within permanent magnet

H. Tsukahara, N. Inami, K. Iwano, C. Mitsumata¹, K. Ono
(KEK, ¹NIMS)

はじめに

高保磁力と大きな磁化を併せ持った永久磁石の開発には保磁力機構の詳細な解明が不可欠である。保磁力機構の解明には磁石内部も含めた磁化の情報が重要であり様々な研究がなされている。しかしながら Kerr 顕微鏡などの観測では磁石内部の磁化を直接観察する事は難しく、有限要素法を用いたマイクロマグネティクスシミュレーションにおいてもシミュレーションモデルの大きさの制限から磁石内部の磁化ダイナミクスを正確に計算する事は困難である。我々は周期境界条件を用いた有限差分法により磁石内部のマイクロマグネティクスシミュレーションを実行し、磁化反転の様子を磁気的エネルギーの変化も含め詳細に調べた。

計算手法

平均の厚みおよび結晶粒径が 32nm および 160nm の扁平粒子を z 軸方向 (Fig. 1 (c) 参照) に積み重ね、ナノサイズの粒子からなる磁石のモデルを作成した。また各粒子毎に容易軸方向に揺らぎを与え、粒子内および粒子間で異なる交換スティフネス係数を設定し粒子内および粒子間交換相互作用を区別した。磁化ダイナミクスは Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式を周期境界条件下で解く事により求めた。また粒子の自己相互作用を防ぐために粒子の大きさに比べ非常に大きな周期系でシミュレーションを実行する必要があるため KEK のスーパーコンピュータを使用して計算した。シミュレーションでは $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を想定し、飽和磁化 1281 emu/cm^3 、磁気異方性定数 $4.0 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ およびギルバートダンピング定数 1.0 を用いた。また交換スティフネス定数は粒子内および粒子間交換相互作用に対して $7.7 \times 10^{-7} \text{ erg/cm}$ および $7.7 \times 10^{-9} \text{ erg/cm}$ を用いた。容易軸は平均で z 軸から 11.6° 傾いている。

結果

シミュレーション結果から計算された z 軸方向の磁化 m_z の平均値を Fig. 1 (a) に、着磁状態からの各エネルギーの変化を Fig. 1 (b) に外部磁場の関数として示す。外部磁場の大きさが小さくなると各粒子の磁化が容易軸方向に傾くため異方性エネルギーは減少するが、保磁力近傍では急激に値を増す。これに対し反磁場エネルギーは保磁力に近づくとき徐々に値を下げ、保磁力で不連続に値を下げる。保磁力での磁化の状態を Fig. 1 (c) に示す。磁化は粒子内でほぼ同じ向きを向いており m_z の符号が同じ粒子同士が領域を作り interaction domain が形成されている [1]。

謝辞

本研究は、(独) 科学技術振興機構 (JST) による産学共創基礎基盤研究「革新的次世代高性能磁石」の支援を受けて行われたものである。スーパーコンピュータシミュレーションは、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の大型シミュレーション研究 (課題番号 14/15-01) により行われた。

[1] J. Thielsch, H. Stopfel, U. Wolff, V. Neu, T. G. Woodcock, K. Güth, L. Schultz, and O. Gutfleisch, J. Appl. Phys. **111** 103901 (2012).

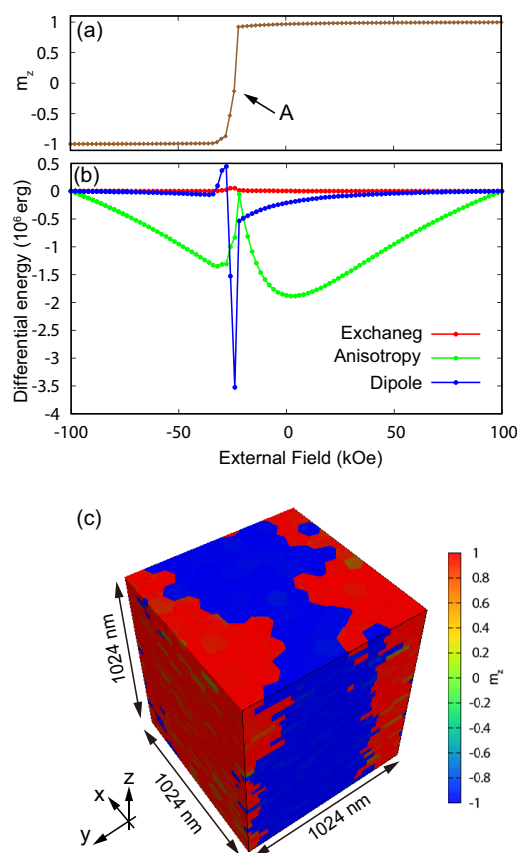


Fig 1: (a) The averaged m_z and (b) the differential energy as a function of the external field. (c) The magnetization at A which is located near the coercivity shown in (a).