

磁化反転における粒界相の効果

塚原宙、岩野薫、三俣千春¹、石川正、小野寛太
(高エネ研,¹ 物材機構)

Effects of grain boundary phases on magnetization reversal process

H. Tsukahara, K. Iwano, C. Mitsumata¹, T. Ishikawa, and K. Ono
(KEK, ¹NIMS)

はじめに

温暖化などの環境問題が深刻さを増しておりヨーロッパ諸国など多数の国々で電気自動車への以降が進んでいる。高エネルギー効率な電気自動車には高性能な永久磁石が不可欠であり精力的に研究されている。永久磁石の保持力は浸透処理により改善される。浸透処理により各粒子間に存在する粒界相が改善され粒子間の磁壁移動を阻害する。しかしながら磁化反転過程における粒界相の働きは完全には理解されていない。我々は減磁過程における粒界相の効果を大規模シミュレーションを用いて研究を行った。

計算手法

多数の立方体粒子を格子状に並べた異方性磁石モデルを用いて減磁過程のシミュレーションを実行した(図1(a)参照)。異方性磁石モデル1辺の長さは1024nmであり各粒子の粒径は62nmである。また粒界相は図1(b),(c)に示されるようにz軸方向のみもしくは全ての方向に粒界相がある場合を考え、それぞれtype Aおよびtype Cとした。シミュレーションでは外部磁場をz方向に印加しLandau-Lifshitz-Gilbert方程式を有限差分法を用いて周期境界条件下で計算した。異方性磁石モデルは1辺2nmの多数の立方体セルで分割し、Nd₂Fe₁₄Bを想定し粒子内では飽和磁化1281.2 emu/cm³、磁気異方性定数4.5 × 10⁷ erg/cm³、交換スティフネス定数12.5 × 10⁻⁷ erg/cmとした。粒界相では主相粒子に比べ飽和磁化は10%、交換スティフネス定数は1%とし、磁気異方性は無いとした。各粒子の容易軸はz軸からΔθ傾いており、平均のΔθは11.6°である。シミュレーションでは独自に開発したシミュレーターを使用した[1]。

結果

Type AおよびCの減磁曲線を図1(d)に示す。減磁曲線は2つの粒界相によらずほぼ同じ形状を持ち、図1(e)および(f)に示す様に磁化反転した領域もどちらの場合もz軸方向に広がる傾向を持つ。しかしながら反転する粒子のΔθは粒界相により大きく異なる。図1(g)に保持力近傍における磁化反転した粒子(青線)としない粒子(赤線)のΔθに対するヒストグラムを示す。Type Aでは磁化反転の有無にかかわらずヒストグラムは同じ形状の曲線となる。これに対しtype Bでは小さなΔθを持つ粒子では磁化反転を起こさない傾向がありtype Aと顕著な違いを示す。

謝辞

本研究の一部は、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16/17-25)により行われた。

[1] H. Tsukahara, K. Iwano, C. Mitsumata, T. Ishikawa, K. Ono, Comput. Phys. Commun, 207, 217 (2016).

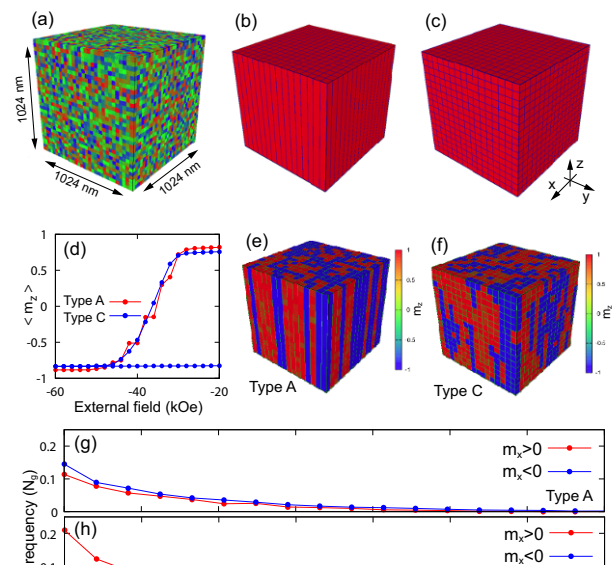


Fig 1: The simulation model (a), the grain boundary phase of type A (b) and C (c). The black lines represent the grain boundary phase. The calculated hysteresis curve (d), and the magnetization of type A (e) and C (f) at coercive field. The histograms of (g) the grains with $m_z > 0$ and (h) $m_z < 0$. N_g is the number of the grains.