

Nd-Fe-B 磁石中の非磁性相が磁化反転核発生磁界に及ぼす影響

堀 亮祐*, 柳井 武志, 中野 正基, 福永 博俊(長崎大学)
加藤 龍太郎, 中澤 義行 ((株)本田技術研究所)

Effect of non-magnetic phases in Nd-Fe-B magnets on nucleation of reversed domains
Ryousuke Hori*, Takeshi Yanai, Masaki Nakano, Hirotohi Fukunaga (Nagasaki University)
Ryutaro Kato, Yoshiyuki Nakazawa (Honda R&D Co., Ltd.)

背景

Nd-Fe-B 磁石は民生用途から産業用途まで広く使用されているが、その保磁力は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の異方性磁界に比べ低い値にとどまっております[1]、その改善が急務である。本研究では複数の結晶に接する非磁性相（以後、三重点相と呼ぶ）に着目し、磁石中に存在する三重点がその磁化反転核の発生に及ぼす影響についてマイクロマグネティクス理論に基づく計算機シミュレーションを用いて検討した。その結果、三重点相のサイズの減少が核発生磁界を増加させることが明らかになった。

解析モデル

三重点相の影響を検討するため、Fig. 1 に示す立方体結晶モデルを作成した。モデルは、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶（主相、サイズ L ）と四面体非磁性相（三重点相、サイズ T ）から構成されており、 $32 \times 32 \times 32$ の立方体要素に分割されている。解析では x, y, z 方向に対して周期境界条件を設定し、無限に大きな磁石を仮定した。さらに、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶表面には磁気異方性の低下した磁気劣化層（厚さ 3 nm）を配置し、結晶表面での磁気異方性の低下が磁化反転過程に及ぼす影響を加味できるように配慮した。また、結晶の最表面には非磁性粒界相を配置し、結晶粒界からの磁化反転がスタートすることを抑制した。

解析結果及び考察

結晶サイズ L を 96nm に固定し、三重点サイズ T を 0~72 nm（体積分率:0~7%）の範囲で変化させて保磁力 H_c の変化を調べた（Fig. 2）。図中の K_{ud} は劣化層の結晶磁気異方性定数の値を示している。図に示されるように、 H_c の変化は、 T の大きさにより 3 つの領域に分けることはできる。 T が 10 nm より小さいとき（以後、領域 I とよぶ）には、 H_c は T に依存しない。 T が 10~40 nm の範囲（以後、領域 II とよぶ）では、 T の増加とともに H_c が減少する。さらに、 T が 40 nm を超える領域 III（以後、領域 III とよぶ）では、磁化劣化層が無い場合を除いて、 H_c が一定となる。領域 I 及び II では、Fig.1 の○印付近で逆磁区が発生して結晶全体に広がり、各発生磁界と H_n と H_c が一致した。一方、 H_c が一定となる領域 III では、発生した逆磁区は劣化相付近にピンされ、 H_c はピンング力によって決定された。 T の増加による局所反磁界の増加にもかかわらず、 H_c が変化しない領域 I の存在は、磁化反転の生じる最小体積（活性化体積）と関係してると考えている。結晶サイズ L を変えた際の H_c の振る舞いを Fig.3 に示している。領域 I では、 L の近いによる、 H_c の差は小さい、 $H_c (=H_n)$ の差は小さいが、領域 II では、 L の減少により $H_c (=H_n)$ が大きく増加する。 $L=48$ および 96nm における局所反磁界の大きさはほぼ等しいので、この差は反磁界の大きさに依るものではなく、反磁界の分布の広さに起因するものである。

以上の結果は三重点相サイズを小さくすることにより H_n を改善できる可能性を示唆するものである。

参考文献

[1] S. Sugimoto, *J. Jpn. Soc. Powder and Powder Metallurgy* **57**, 395(2010).

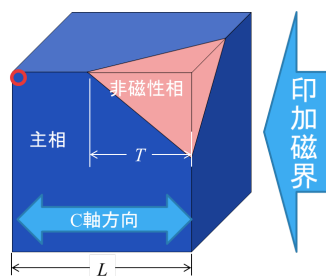


Fig.1 Simulation model.

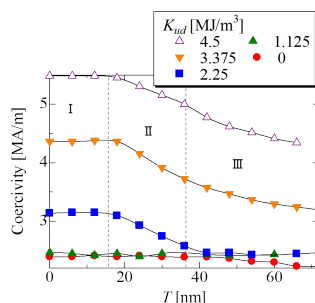


Fig.2 Dependence of coercivity H_n on size of non-magnetic phase, T .

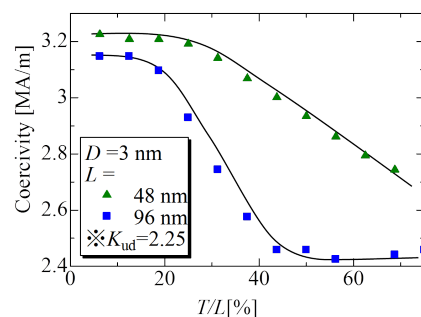


Fig.3 Effect of grain size L on coercivity H_c .