

ナノコンポジット $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe-B}$ 積層膜の磁気特性

大橋一輝, 神尾知志, 小池邦博, 稲葉信幸, 加藤宏朗
小川大介*, 近藤政孝**, 板倉 賢**, 大兼幹彦***, 安藤康夫***
(山形大, *NIMS, **九州大, ***東北大)

Magnetic properties of nanocomposite $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe-B}$ multilayer films

Kazuki Ohashi, Tomoshi Kamio, Kunihiro Koike, Nobuyuki Inaba, Hiroaki Kato,

Daisuke Ogawa*, Masataka Kondo**, Masaru Itakura**, Mikihiro Oogane***, Yasuo Ando***

(Yamagata Univ., *NIMS, **Kyushu Univ., ***Tohoku Univ.)

1. はじめに

永久磁石の最大エネルギー積(BH)_{max}の増大方法であるハード/ソフト相交換結合型のナノコンポジット化は、均質なナノ結晶粒子の形成が困難なため、期待される性能が得られていない。他の要因として Toga 等は第一原理計算により $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\alpha\text{-Fe}$ 接合界面における負の交換結合状態の存在が磁化低下の要因である事を指摘した[1]。我々は実験的にこの交換結合状態の接合界面異方性を確認し [2],[3], Nd-Fe-B がアモルファスの状態からポストアニールした $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe}$ 積層膜における垂直磁気異方性の発現を報告している[4]。本研究では Fe-B 合金を軟磁性相とした $\text{Nd-Fe-B}/\text{Mo}/\text{Fe-B}$ 積層膜の磁気特性に与える Mo 中間層効果を検討する。

2. 実験方法

積層膜は UHV スパッタ装置を用いて $\text{MgO}(001)$ 基板上に製膜した。膜構成は $\text{Mo}(20\text{ nm})/[\text{Nd-Fe-B}(30\text{ nm})/\text{Mo}(t_{\text{Mo}}=0, 1\text{ nm})/\text{Fe-B}(5\text{ nm})/\text{Mo}(t_{\text{Mo}}=0, 1\text{ nm})]_5/\text{Mo}(10\text{ nm})$ である。 $T_s=300^\circ\text{C}$ で $[\text{Nd-Fe-B}/\text{Fe-B}]$ 及び $[\text{Nd-Fe-B}/\text{Mo}/\text{Fe-B}]$ を1周期として5周期繰り返し堆積し、 $400^\circ\text{C} \leq T_a \leq 750^\circ\text{C}$ の範囲で真空中アニールした。磁化曲線は VSM を用い、結晶構造と配向状態は XRD と TEM で、膜厚は XRR で評価した。膜表面形態は AFM で、磁区像を MOKE で観察した。

3. 実験結果・考察

Fig.1 の 750°C でアニールした $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}(t_{\text{Mo}}=0, 1\text{ nm})/\text{Fe-B}$ 積層膜の面直方向(OOP)の磁化曲線から、 Mo 中間層の無い $t_{\text{Mo}}=0\text{ nm}$ の積層膜における約 1 kOe の保磁力 H_c が、 Mo 中間層を導入した $t_{\text{Mo}}=1\text{ nm}$ の積層膜では約 5 kOe へ増大していることが分かる。後者の積層膜の断面 TEM 観察から $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の形成が確認されており、この面直方向の初磁化曲線の放物線形状と減磁曲線の良い角型性は、ピン留め型の保磁力発生機構と Mo 中間層を介した $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 層と Fe-B 層間の交換結合状態を示唆している。この結果は軟磁性相に Fe-B 合金を用いた場合でも、 1 nm 厚の Mo 中間層の導入が既報 [4] と同様に $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相生成と両層間の正の交換結合を維持するのに有効であることを示している。

References

[1] Y. Toga, H. Moriya, H. Tsuchiura, and A. Sakuma, *J. Phys.: Conf. Series* **266** (2011) 012046..

[2] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, and H. Kato, *J. Magn. Soc. Jpn.* **36**, (2012) 5.

[3] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, T. Miyazaki, M. Oogane, Y. Ando, and H. Kato, *Appl. Phys. Lett.*, **107**, (2015) 102406.

[4] K. Kobayashi, D. Ogawa, K. Koike, H. Kato, M. Oogane, T. Miyazaki, Y. Ando and M. Itakura, *J. Phys.: Conf. Ser.*, in press.

謝辞：本研究の一部は JST 産学共創基礎基盤研究プログラム「革新的次世代高性能磁石創製の指針構築」および JSPS (基盤研究(B) No.16H04488)の助成を受けて行われた。

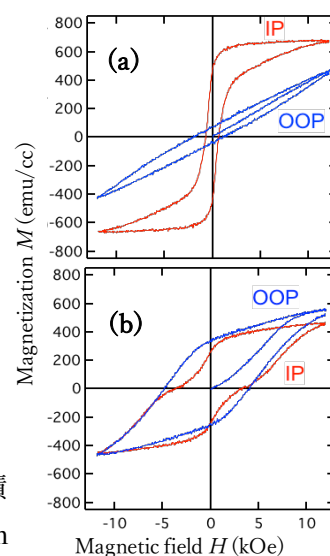


Fig.1 Magnetization curves for the $\text{Nd-Fe-B}/\text{Mo}(t_{\text{Mo}})/\text{Fe-B}$ multilayers with (a) $t_{\text{Mo}}=0\text{ nm}$ and (b) $t_{\text{Mo}}=1\text{ nm}$ annealed at $T_a=750^\circ\text{C}$.