

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560688

研究課題名（和文）省レアメタルを可能とするHRE理想界面を持ったナノマグネットモデル薄膜の創成

研究課題名（英文）Creation of nano-magnet model thin films with HRE ideal interface for reducing rare-metal

研究代表者

小池 邦博（KOIKE KUNIHIRO）

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40241723

研究成果の概要（和文）：Nd-Fe-B 焼結磁石はハイブリッド自動車や風車用の高出力モーターなどへ広く応用される。近年、磁化を低下させることなく僅かな重希土類元素添加で保磁力を増大する粒界拡散法(GBDP)と呼ばれる新しい技術が開発されている。一方、粒界相であるNd-rich相はNd-Fe-B焼結磁石の保磁力を増大するのに有用な役割を担っていると考えられている。しかし、Dyを含むGBDP磁石の保磁力増大は、Dyリッチシェルのみであるのか、あるいはDyリッチシェルとNdリッチ相の両方が必要であるのかは明確でなかった。そこで、本研究では、Nd₂Fe₁₄Bと粒界相の界面近傍の微細構造と保磁力の関係を研究する目的で、Dy層あるいはDy/Nd二重層で被覆されたNd₂Fe₁₄B層から成るモデル界面を形成した。

研究成果の概要（英文）：Nd-Fe-B sintered magnets have a potential for wide application such as a high performance motor for hybrid electric vehicle (HEV) and direct drive wind turbine. Recently, a new technique to enhance the coercivity H_c by using lesser amount of heavy rare earth element (HRE) has been developed, which is called a grain boundary diffusion process “GBDP”. On the other hand, it is believed that the Nd-rich phase plays an important role in the coercivity enhancement in Nd-Fe-B magnets. In the case of GBDP magnets with Dy, however, it is still not clear whether only the Dy-rich shell or both Dy-shell and the Nd-rich phase are indispensable for the high H_c . Therefore, we fabricated a model interface system, which consists of the Nd₂Fe₁₄B layer with Dy overlayer and Dy/Nd double over-layer in order to study the relationship between microstructure near the interface and the coercivity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2700,000	810,000	3510,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：モデル界面，超高真空成膜，微細化効果，被覆効果，永久磁石，レアメタル，ジスプロシウム，ネオジム磁石

1. 研究開始当初の背景

高性能モーター用希土類永久磁石では、DyやTbなどの重希土類元素(HRE)を大量に消費するため、資源枯渇問題へと繋がる恐れが

高い。よって、HREを極力使用せずに高い耐熱性を持つ高保磁力希土類焼結磁石の開発が急務である。

2. 研究の目的

本申請課題では重希土類元素(HRE)を極力使用せずに Nd-Fe-B 系粒界拡散磁石の高保磁力化するための指導指針の獲得を最終的な目標とし、高真空(HV)と超高真空(UHV)環境下における薄膜プロセスを用いて単磁区サイズ以下の主相粒子と HRE を含む粒界相との様々な界面状態を持つ薄膜試料を作製する。

3. 研究の方法

シリーズ I の試料は高真空(HV)RF マグネトロンスパッタ装置を用い、耐熱ガラス基板上へ作製した。膜構成は glsaa/Dy(30 nm)/Ta(100 nm)/Nd-Fe-B/Dy(t_{Dy} = 0, 250 nm)/Ta(10 nm)である。試料のポストアニールは、到達真空度が 10^{-5} Pa 台の真空中熱処理炉を用い、任意の温度で 60 min 間保持した後、炉冷した。シリーズ II の試料は超高真空(UHV)スパッタ装置を用いて $Al_2O_3(0001)$ 単結晶基板上に作製した。シリーズ II の膜構成は $Al_2O_3(0001)$ /Mo(20 nm)/Nd-Fe-B (30 nm)/Dy(t_{Dy} = 0, 20 nm)/Mo(10 nm)とした。また、必要に応じて $200^\circ C \sim 450^\circ C$ で *in-situ* ポストアニールを行った。シリーズ III の試料もシリーズ II と同様に UHV スパッタ装置を用いて $Al_2O_3(0001)$ 基板上へ作製した。膜構成は /Mo(20 nm)/Nd-Fe-B (30 nm)/[Dy(t_{Dy} nm), Nd(t_{Nd} nm)](20 nm)/Mo(10 nm)とした。このとき Dy/Nd 二重被覆層の総膜厚を 20 nm と一定とし、Dy 層と Nd 層の膜厚比を変化させた。薄膜試料の膜厚については、接触式段差計や X 線反射率測定法(XRR)を用いて予め各層についての堆積速度を求め、堆積時間を変化させることで制御した。試料の磁化曲線は、振動試料型磁力計(VSM)及び超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いて測定した。結晶構造と配向状態を Cu-K α 線を用いた X 線回折装置(XRD) および X 線回折パターン解析ソフトウェア(RIETAN-VIENUS)で評価し、エピタキシャル性を X 線極点図形測定で評価した。また、原子間力顕微鏡(AFM)および走査型電子顕微鏡(SEM)で試料の表面形態を評価し、粒子サイズや表面粗さを画像解析で求めた。膜組成は SEM に付属のエネルギー分散型分光(EDS)で分析した。

4. 研究成果

(1) シリーズ I 試料の Dy 被覆効果

Fig. ① に様々な温度で熱処理した glass/Dy/Ta/Nd-Fe-B/Dy/Ta 薄膜における XRD パターンを示す。これらの試料の XRD パターンから $Nd_2Fe_{14}B$ の *c* 軸配向はやや乱れていることが分かる。hcp-Dy ピークが Dy 被覆試料に見られ、結晶化した Dy 層が $Nd_2Fe_{14}B$ 粒子上へ形成されているのが確認される。450°C で熱処理した後の Dy 被覆試料には、ラ

ーベス相の $DyFe_2$ 相や $bcc-Dy_2O_3$ 相の存在を示すピークが現れている。一方、700°C で熱処理した試料には $fcc-NdO$ 相の存在を示すピークが現れている。

Fig. ② に Fig. ① に示した(a)保磁力と(b)飽和磁化のポストアニール温度 T_a 依存性を示す。 T_a が $550^\circ C$ 以下の面直 H_c は約 3 kOe で、面内 H_c は 5 kOe であり、共に温度に対してほぼ一定であるが、 $600^\circ C$ 以上では急激に増大し、 $700^\circ C$ でその値は 15 kOe 以上を示す。これに対して、飽和磁化の値は $550^\circ C$ では 420 emu/cm^3 程度だが、それ以上の温度で急激に減少し、 H_c 増大と対応している。

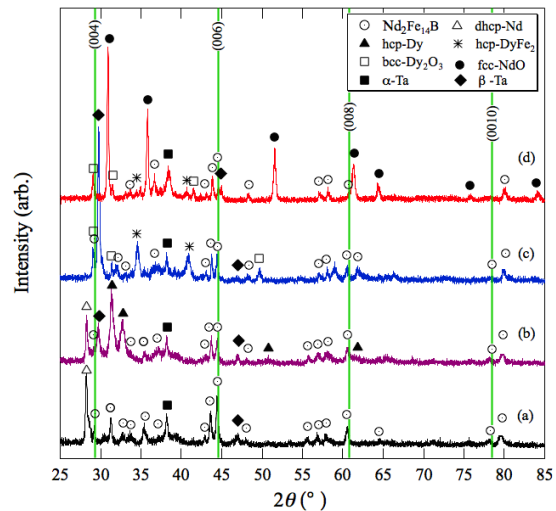


Fig.① シリーズ I 試料の XRD パターン。As-depo.状態の(a)Nd-Fe-B薄膜と(b)as-depo.状態および(c)450°C、(d)700°Cで熱処理したNd-Fe-B/Dy薄膜。

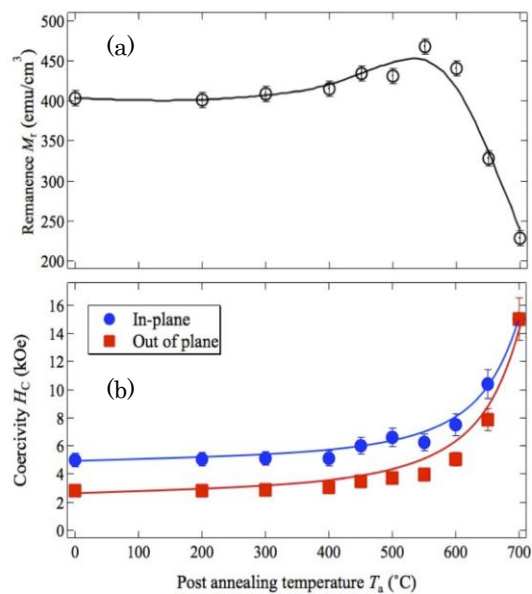


Fig.② シリーズ I 試料の Dy 被覆薄膜における(a) M_r (赤丸)と H_c (青丸)の保磁力と(b)飽和磁化のポストアニール温度依存性。

以上の結果は、700°Cの熱処理によって、Dy被覆層からDyがNd₂Fe₁₄B粒界へ拡散し、さらにNd₂Fe₁₄B相のNd原子と一部置換していることを意味している。Nd-Fe-B系磁石の保磁力が、 $H_c = \alpha K_u / M_s - N_{\text{eff}} \cdot M_s$ として表せることをKronmüllerは示している。このため、シリーズI試料のH_c増大現象は、主相に相当する(Nd, Dy)₂Fe₁₄B粒子の磁化の減少と粒界近傍のNd酸化物の存在に起因することが示唆される。

(2) シリーズII試料のDy被覆効果

シリーズIIでは、試料成膜環境をUHVとすることで、シリーズI試料で見られたDyやNd酸化物の影響を極力避けることが期待できる。Fig.③にシリーズII試料の実験結果として、as-depo.状態と200°C ≤ T_a ≤ 450°Cで熱処理したNd-Fe-B/Dy薄膜とas-depo.状態とT_a = 400°Cで熱処理したNd-Fe-B薄膜のXRDパターンを示す。T_a ≤ 300°CのDy被覆試料とNd-Fe-B試料には、Nd₂Fe₁₄B結晶の(002n)面からのピークが見られ、c軸が垂直配向している試料であることがわかる。また、Dy被覆した試料にはhcp-Dyのピークが見られる。しかし、400°C以上ではNd₂Fe₁₄B由来のピークは消失し、代わりにhcp-Dy₂O₃やcubic-DyFe₂のピークが現れる。これらの試料の磁気特性である、(a)残留磁化M_rと(b)H_cのポストアニール温度依存性をFig.④に示した。As-depo.状態のDy被覆試料はNd-Fe-B試料と同様にH_c ~ 5 kOeであるが、T_a = 200°CでH_c ~ 10 kOeまで増大し、M_rは620 emu/ccまで減少している。T_a = 350°Cでは、H_cの値は11 kOeでほぼ変わらないが、T_a ≥ 400°CでH_cとM_rは大きく減少している。

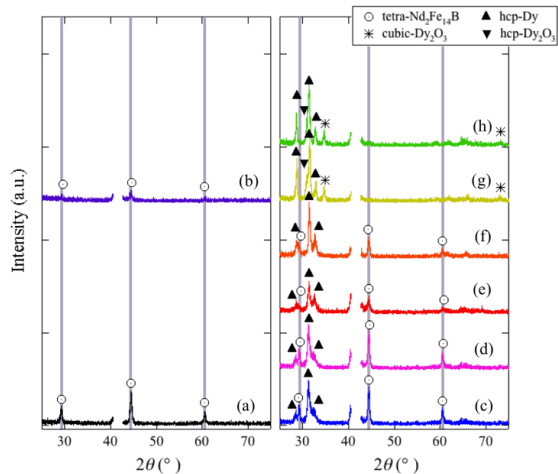


Fig.③ シリーズII試料のXRDパターン。(a)As-depo.状態と(b)400°Cの熱処理後のNd-Fe-B薄膜。(c)As-depo.状態および(d)200°C, (e)250°C, (f)300°C, (g)350°C, (h)400°C, (i)450°Cの熱処理後のNd-Fe-B/Dy薄膜。

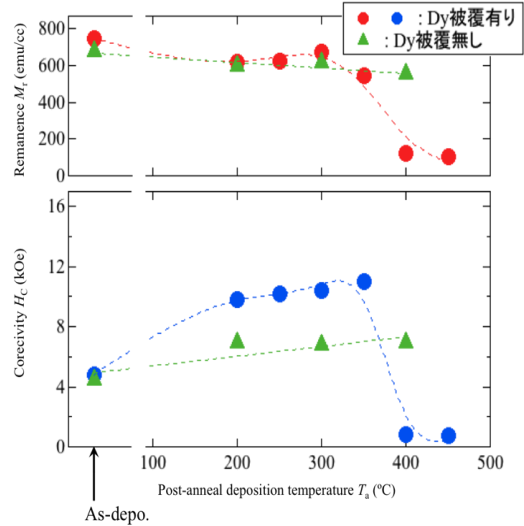


Fig.④ シリーズII試料のNd-Fe-B/Dy薄膜におけるM_r (赤丸)とH_c (青丸)のポストアニール温度依存性。標準試料としてNd-Fe-B薄膜(▲)のデータ記載。

UHV環境で*in-situ.*で熱処理されたシリーズIIの試料は、熱処理中の圧力がHVのそれよりも3桁程度低い上、酸化物の生成量も比較的少ないため、Dy被覆層からNd₂Fe₁₄B粒界や粒子自身への熱拡散が簡単に生じるため、シリーズIよりも低い温度でDyFe₂やDy酸化物が形成されたと考えられる。したがって、Dy粒界拡散型のNd-Fe-B系磁石において磁化を減少させずにH_cを増大するには適度なDy拡散が必要であることが明らかとなった。また、このシリーズの試料のH_cがシリーズIに比べて小さいことから、H_cの増大には粒界相が必須であることが推察される。

(3) シリーズIII試料のDy/Nd被覆効果

シリーズII試料の結果から、シリーズIの試料で除去したNdあるいはNd酸化物を粒界相として人工的に形成するためにNd₂Fe₁₄BへDy/Nd被覆した試料を作製した。Fig.⑤にシリーズIII試料のXRDパターンを示す。すべての試料についてNd₂Fe₁₄B相のc軸が垂直配向している。さらに500°Cで熱処理したDy被覆試料は、Nd₁₁Fe₁₄B相やcubic構造のNdO₂相からの回折ピークが見られる。一方、試料のt_{Dy} = 0 nm、すなわち、本シリーズの中ではNd被覆層厚の厚いt_{Nd} = 20 nmのNdで被覆された試料とt_{Dy} = 1 nmのDy/Nd二重被覆層で被覆された試料については、Nd-Fe-B薄膜には見られなかったdhcp-Nd相からのピークが確認される。Dy層厚の割合が大きくなるt_{Dy} = 10 nmの試料では、Nd₂Fe₁₄Bの(006)面からの回折ピークは非常に弱くなり、c軸の配向度が低下している。この試料にはcubic-DyFe₂相の強いピークが現れており、この他にhcp-Dy₂O₃相の存在も

確認できる。

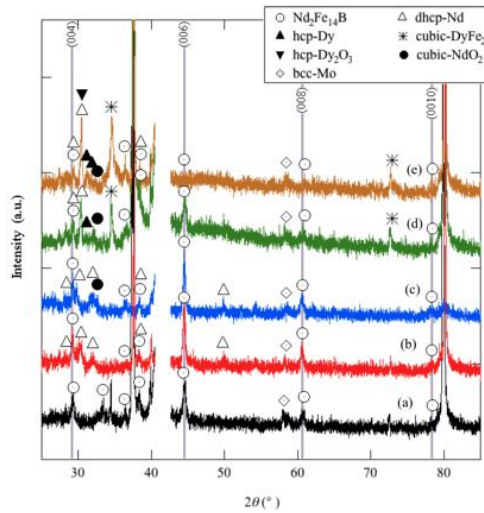


Fig.⑤ シリーズ III 試料の XRD パターン。(a)As-depo.状態の Nd-Fe-B 薄膜と(b) Dy 層厚 $t_{Dy} = 0$ nm (Nd 層厚 $t_{Nd} = 20$ nm), (c) 1 nm ($t_{Nd} = 19$ nm), (d) 5 nm ($t_{Nd} = 15$ nm), (e) 10 nm ($t_{Nd} = 10$ nm) について 500 °C の熱処理後の Nd-Fe-B/Dy/Nd 薄膜。

Fig.⑥に上記の試料の H_c と M_r の Dy 膜厚 t_{Dy} 依存性を示す。 $t_{Dy} = 1$ nm と 5 nm の Dy/Nd 被覆試料の H_c は Nd-Fe-B 薄膜の 6 kOe の 3 倍以上の値を示している。一方、このときの M_r の値は、Dy/Nd 層の被覆前に比べてほぼ変わらないが、 $t_{Dy} = 10$ nm の試料では、 M_r と H_c の値は共に低下している。これは、XRD パターンで確認されたように、Dy 層厚が非常に薄い場合は Dy 原子に起因する結晶相からのピークが確認されず、Nd-rich 相に相当する Nd 金属のピークが見られ、Dy 層厚の増加によって DyFe₂ 化合物相の生成によるピークが見られることに対応している。このことから、Nd 被覆による粒界相の形成の他に Nd₂Fe₁₄B 層に対する最適な Dy 拡散原子数が存在することが示された。

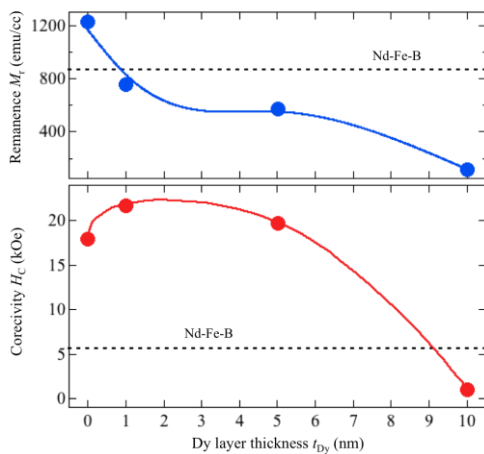


Fig.⑥ シリーズ III 試料の Nd-Fe-B/Dy/Nd 薄

膜における(a) M_r と(b) H_c の Dy 層厚依存性。以上の 3 つのシリーズの薄膜試料作製から、Dy 粒界拡散型 Nd-Fe-B 系永久磁石において保磁力を増大させるための主な条件は、第一に主相となる Nd₂Fe₁₄B 粒子サイズの微細化、第二に主相粒子表面近傍の Nd の Dy 置換、第三として酸化物を極力排除した Nd などの希土類金属からなる非磁性粒界相の存在であることが示唆される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- [1] J. Umezawa, Y. Sakai, K. Koike, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando, and H. Kato, Interface state and Coercivity in Nd-Fe-B/Dy Films, *J. Korean Phys. Soc.*, in press. (査読有り)
- [2] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, T. Miyazaki, M. Oogane, Y. Ando and H. Kato, Evaluation of interlayer exchange coupling in α -Fe(100)/Nd₂Fe₁₄B(001) Films, *J. Korean Phys. Soc.*, in press. (査読有り)
- [3] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, T. Miyazaki, Y. Ando, and H. Kato, Coercivity enhancement phenomena observed in various series of Nd₂Fe₁₄B thin films, *Proc. on the 22th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Nagasaki, Japan, 2012, 460-463. (無査読)
- [4] J. Umezawa, Y. Sakai, K. Koike, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando, and H. Kato, Effect of Rare-Earth Overlayers on the Coercivity in Nd-Fe-B Films, *Proc. on the 22th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Nagasaki, Japan, 2012, 453-455. (無査読)
- [5] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, T. Miyazaki, M. Oogane, Y. Ando, and H. Kato, Evaluation of Exchange Coupling in Nd₂Fe₁₄B/ α -Fe Interfaces, *Proc. on the 22th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Nagasaki, Japan, 2012, 161-164. (無査読)
- [6] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki and H. Kato, Evaluation of Exchange Coupling in α -Fe(100)/Nd₂Fe₁₄B(001) interface, *J. Mag. Soc. Jpn.*, 36, 2012, 5-12. (査読有り)
- [7] 小川大介, 小池邦博, 水上成美, 大兼幹彦, 安藤康夫, 宮崎孝道, 加藤宏朗, Nd₂Fe₁₄B/ α -Fe 界面における交換結合の評価, *信学技報(IEICE Technical Report)*, 112, 80, 31-34. (無査読)
- [8] H. Kato, D. Ogawa, and K. Koike, Interface State and Coercivity in Nd-Fe-B Magnets, *Proc.*

on the 22th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications, Nagasaki, Japan, 2012, 153-154. (無査読)

[9] K. Koike, S. Igarashi, K. Yamaguchi, T. Kusano, T. Miyazaki, D. Ogawa, T. Akiya, Y. Adachi, and H. Kato, Effect of rare-earth overlayer on the coercivity in sputter-deposited Nd-Fe-B films, *J. Phys.: Conf. Series*, 200, 2010, 082015(1)-082015(4). (査読有り)

[10] H. Kato, T. Akiya, K. Koike, D. Ogawa, Modification of the interface nanostructure and coercivity in Nd-Fe-B magnets, *Proc. on the 21th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Bled, Slovenia, 2010, 36-39. (無査読)

[11] D. Ogawa, K. Koike, T. Miyazaki, S. Mizukami, T. Akiya, M. Oogane, Y. Ando, H. Kato, Ferromagnetic resonance investigation of exchange coupling in Nd₂Fe₁₄B/ α -Fe interfaces, *Proc. on the 21th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Bled, Slovenia, 2010, 40-42. (無査読)

[12] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, T. Miyazaki, T. Akiya, Y. Adachi, and H. Kato, Giant coercivity enhancement by Nd sputter coating in Nd₂Fe₁₄B thin films, *Proc. on the 21th International Workshop on Rare-earth Permanent Magnets and their Applications*, Bled, Slovenia, 2010, 106-108. (無査読)

[学会発表] (計 23 件)

[1] 小池邦博, 梅澤 仁, 水野善幸, 小川大介, 宮崎孝道, 安藤康夫, 加藤宏朗, Nd/Dy 層で被覆された Nd-Fe-B 薄膜の磁気特性, 2013 年日本金属学会春期(第 152 回)講演大会 2013 年 3 月 27 日~3 月 29 日 (東京理科大学神楽坂キャンパス, 新宿区, 東京都).

[2] D. Ogawa, K. Koike, and H. Kato, Combinatorial approach to the optimization of magnetic properties in Nd-Fe-B thin films, 2nd International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS2012), 2 October - 5 October 2012, (Nara Prefectural Public Hall, Nara, Japan).

[3] K. Koike, J. Umezawa, H. Shiroiwa, D. Ogawa, and H. Kato, Effect of Annealing on Coercivity of Nd-Fe-B/Nd Thick Films, 2nd International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS2012), 2 October - 5 October 2012, (Nara Prefectural Public Hall, Nara, Japan).

[4] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, T. Miyazaki, M. Oogane, Y. Ando, and H. Kato, EVALUATION OF EXCHANGE COUPLING IN Nd₂Fe₁₄B/ α -Fe INTERFACES, 21st

Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications (REPM'12), 2 September - 5 September 2012, (Nagasaki Brick Hall, Nagasaki, Japan).

[5] J. Umezawa, Y. Sakai, K. Koike, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando, and H. Kato, EFFECT OF RARE-EARTH OVERLAYERS ON THE COERCIVITY IN Nd-Fe-B FILMS, 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications (REPM'12), 2 September - 5 September 2012, (Nagasaki Brick Hall, Nagasaki, Japan).

[6] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando and H. Kato, COERCIVITY ENHANCEMENT PHENOMENA OBSERVED IN VARIOUS SERIES OF Nd₂Fe₁₄B/Nd FILMS, 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications (REPM'12), 2 September - 5 September 2012, (Nagasaki Brick Hall, Nagasaki, Japan).

[7] D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, T. Miyazaki, M. Oogane, Y. Ando and H. Kato, Evaluation of interlayer exchange coupling in α -Fe(100)/Nd₂Fe₁₄B(001) Films, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), July 8-13, 2012 (Bexco, Busan, Korea).

[8] J. Umezawa, Y. Sakai, K. Koike, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando, and H. Kato, Interface state and Coercivity in Nd-Fe-B/Dy Films, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), July 8-13, 2012 (Bexco, Busan, Korea).

[9] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, Y. Mizuno, T. Miyazaki, Y. Ando and H. Kato, Effects of Grain Size and Interface State on the Coercivity in Nd-Fe-B/Nd Thin Films, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), July 8-13, 2012 (Bexco, Busan, Korea).

[10] 梅澤 仁, 小池邦博, 小川大介, 水野善幸, 加藤宏朗, Nd-Fe-B/Dy スパッタ薄膜の磁気特性, 1pA04, 第 66 回応用物理学会東北支部学術講演会, 2011 年 12 月 1 日(木)~ 3 日(土), (いわて県民情報交流センター, 岩手市, 岩手県).

[11] 小池邦博, 草野貴尚, 梅澤 仁, 小川大介, 加藤宏朗, Nd-Fe-B 微粒子膜の保磁力に与える Nd 被覆の影響, 日本金属学会 2011 年秋期講演 (第 149 回) 大会 2011 年 11 月 7 日(月)~11 月 9 日(水), (沖縄コンベンションセンターおよびカルチャーリゾートフェストーネ, 宜野湾市真志喜, 沖縄県).

[12] 梅澤 仁, 小池邦博, 小川大介, 水野善幸, 稲葉信幸, 加藤宏朗, Nd-Fe-B/Dy 薄膜の界面状態と磁気特性, 27aC-2, 2011 年度・日本磁気学会第 35 回学術講演会 2011 年 9 月 27 日—30 日 (新潟コンベンションセンター, 新潟市,

新潟県).

[13] D. Ogawa, K. Koike, T. Miyazaki, S. Mizukami, M. Oogane, Y. Ando, H. Kato, Evaluation of Exchange Coupling in α -Fe/Nd₂Fe₁₄B Interfaces, European Congress on Advanced Materials and Processes 12-15 September 2011 (Le Corum Conference Centre, Montpellier, France).

[14] K. Koike, K. Takanao, O. Daisuke, U. Jin, M. Takamichi, M. Yoshiyuki, K. Hiroaki, Effect of grain size and intergranular state on the coercivity in Nd-coated Nd₂Fe₁₄B films, European Congress on Advanced Materials and Processes 12-15 September 2011 (Le Corum Conference Centre, Montpellier, France).

[15] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, Y. Adachi, H. Kato, Effects of Nd-Fe-B grain size and Nd coating on the coercivity in Nd₂Fe₁₄B thin films, IEEE International Magnetics Conference, April 25-29, 2011 (Taipei, Taiwan).

[16] K. Koike, S. Igarashi, T. Miyazaki, D. Ogawa, H. Kimura, and H. Kato, Coercivity enhancement in Nd-Fe-B/Nd thick films, International Conference of Asian Union of Magnetics Societies ICAUMS2010 December 5-8 2010 (Lotte Hotel Jeju, Jeju Island, Korea).

[17] K. Koike, Y. Sakai, T. Kusano, N. Inaba, and H. Kato, Interface Structure and Coercivity in Nd-Fe-B/Dy Films, International Conference of Asian Union of Magnetics Societies ICAUMS2010 December 5-8 2010 (Lotte Hotel Jeju, Jeju Island, Korea).

[18] 梅澤 仁, 坂井美樹, 草野貴尚, 小池邦博, 稲葉信幸, 加藤宏朗, Nd-Fe-B/Dy 薄膜の界面状態と保磁力, 第 65 回応用物理東北支部学術講演会, 2010 年 11 月 25 日(木), 26 日(金), (東北大学工学部青葉記念会館, 仙台市, 宮城県).

[19] D. Ogawa, K. Koike, T. Miyazaki, S. Mizukami, T. Akiya, M. Oogane, Y. Ando and H. Kato, Ferromagnetic Resonance Investigation of Exchange Coupling in Nd₂Fe₁₄B / α -Fe Interfaces, 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications (REPM'10), 29 August - 2 September 2010, (Bled, Slovenia).

[20] K. Koike, T. Kusano, D. Ogawa, T. Miyazaki, T. Akiya, Y. Adachi and H. Kato, Giant Coercivity Enhancement by Nd Sputter Coating in Nd₂Fe₁₄B Thin Films, 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications (REPM'10), 29 August - 2 September 2010, (Bled, Slovenia).

[21] D. Ogawa, K. Koike, T. Miyazaki, S. Mizukami, M. Oogane, Y. Ando and H. Kato, Ferromagnetic-Resonance Study of Exchange Coupling in α -Fe/Nd₂Fe₁₄B Interfaces PC-15, The 2nd International Symposium on Advanced

Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 12-16, 2010, (Sendai international center, Sendai, Miyagi).

[22] S. Igarashi, K. Koike, T. Miyazaki, Y. Mizuno, D. Ogawa, T. Akiya, H. Kimura, Y. Adachi and H. Kato, Effect of Substrate Temperature during Deposition of Nd overlayer on the Coercivity in Nd-Fe-B Thick Films RC-08, The 2nd International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 12-16, 2010, (Sendai international center, Sendai, Miyagi).

[23] K. Koike, D. Ogawa, T. Kusano, T. Miyazaki, T. Akiya, Y. Adachi and H. Kato, Enhanced coercivity in Al₂O₃(*a*-plane)/Mo /Nd-Fe-B/Nd/Mo thin films RC-09, The 2nd International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 12-16, 2010, (Sendai international center, Sendai, Miyagi).

[その他]

ホームページ等

<http://i-physics.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小池 邦博 (KOIKE KUNIHIRO)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40241723

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：