

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02425

研究課題名(和文) 超顕微解析に基づく積層型ナノコンポジット膜磁石の配向界面制御

研究課題名(英文) Control of oriented interfaces in nanocomposite film magnets based on ultramicroscopic analysis

研究代表者

板倉 賢 (Itakura, Masaru)

九州大学・総合理工学研究院・准教授

研究者番号：20203078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：レアアース量を削減できる積層型ナノコンポジット膜磁石の創製を目指し、超高真空蒸着(UHVD)法と高速成膜パルスレーザー蒸着(PLD)法の2種類の「高度な成膜技術」と、走査透過型電子顕微鏡(STEM)やプリセッション電子回折(PED)などのナノスケールで構造・組成・磁区構造を解析できる「超顕微解析技術」を駆使して、Mo中間層挿入による界面拡散抑制やシード微結晶導入による低温成膜での配向成長などについて調査し、交換結合に有利な配向界面制御を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境計測用ナノドローン等に搭載する小型モータ用磁石の需要が急増しており、レアアースをできるだけ使わない小型高性能磁石が求められている。ナノコンポジット磁石はハード磁性単相を超える磁気特性が期待され、コンポジット化によりレアアース使用量も削減できる。配向界面制御は高特性化の鍵を握る上に、本研究で得られた原子レベルの構造情報は保磁力発現についての基礎的知見も含んでおり、バルク磁石の組織制御においても重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of creating nanocomposite film magnets that can reduce the amount of rare earth elements, this research was carried out using "advanced deposition technologies" (ultra-high vacuum deposition, UHVD and high-speed pulse laser deposition, PLD) and "ultramicroscopic analysis techniques" (such as scanning transmission electron microscopy, STEM and precession electron diffraction, PED). In order to obtain a method of controlling orientated interface that is advantageous for exchange coupling, we investigated the suppression of interface diffusion by inserting Mo intermediate layers, the orientated grain growth in low-temperature deposition by introducing seed microcrystals, and so on.

研究分野：金属物性学、電子顕微鏡

キーワード：走査透過型電子顕微鏡 プリセッション電子回折 薄膜磁石 ナノコンポジット磁石 界面制御 配向成長

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

環境計測用ナンドローン等に搭載する小型モータ用磁石の需要が急増しており、レアアース(RE)をできるだけ使わない小型高性能磁石が求められている。微小体積で必要なトルクを稼ぐには、高い保磁力 H_c と最大エネルギー積 $(BH)_{max}$ を併せもつ小型磁石が必要になる。高 H_c のハード磁性相 ($Nd_2Fe_{14}B$ 等) と高残留磁化 B_r のソフト磁性相 (α -Fe 等) をナノスケールで積層したナノコンポジット薄膜磁石は、ハード磁性相を超える $(BH)_{max}$ が期待され[1]、コンポジット化により RE 使用量も削減できる。

ナノコンポジット磁石ではソフト磁性相が単独で磁化反転する臨界径 (~10 nm) などを考慮して各層厚を制御することが重要になる。また小型磁石でも実用化のためには、sub-mm レベルの厚膜化が不可欠である。分担者の中野ら[2]は高速成膜パルスレーザー蒸着(PLD)法を開発し、各層厚を 10 nm ほどに制御しながら 1000 層以上を堆積させた積層型ナノコンポジット厚膜磁石の創製に成功しているが、 $(BH)_{max}$ の増大は達成できていない。ただし、種々の成膜法による薄膜磁石研究においても、実際に $(BH)_{max}$ の増大が確認されたとの報告はまだ数例しかない。これはナノ組織におけるハード磁性相の異方化(配向成長)の困難さによると言われている[3]。

最近、第一原理計算により $Nd_2Fe_{14}B/\alpha$ -Fe 界面での交換結合定数の符号が方位関係により逆転することが指摘され[4]、実験的にも $Nd_2Fe_{14}B(001)//\alpha$ -Fe(100)では平行 \uparrow , $Nd_2Fe_{14}B(100)//\alpha$ -Fe(110)では反平行 \downarrow の交換結合が安定になることが確かめられつつある[5]。すなわち、理想的な交換結合となる $Nd_2Fe_{14}B(001)//\alpha$ -Fe(100)界面だけで構成されたナノコンポジット積層膜を創製することが、 $Nd_2Fe_{14}B$ 単相を超える $(BH)_{max}$ を達成するために重要になる。分担者の小池ら[6]は、超高真空スパッタ(UHVD)法により Mo 堆積 Al_2O_3 基板に加熱しながら成膜することで、(001)配向した $Nd_2Fe_{14}B$ 薄膜を得ている。しかし、加熱しながらの成膜では界面拡散が生じ、交換結合が有効に働く平坦な界面が得られない。そこで小池ら[7]は、薄い Mo 中間層を挿入して改善を試み、成果を出しつつある。以上のように、高性能ナノコンポジット膜磁石の創製には、界面拡散を抑制しつつ配向結晶化できる新たなアイデアが必要になる。

2. 研究の目的

RE 量を削減できる積層型ナノコンポジット膜磁石の創製を目指し、2種類の「高度な成膜技術」とナノスケールで構造・組成・磁区構造を解析できる「超顕微解析技術」を駆使して、物理的根拠のある交換結合に有利な配向界面制御技術の確立を目指した。具体的には、界面拡散を抑制する Mo 中間層導入による $Nd_2Fe_{14}B/\alpha$ -Fe 積層膜の界面制御、 $Nd_2Fe_{14}B$ や Nd の微結晶粒(NFB-seeds or Nd-seeds)を配向成長させたプリカーサ基板による $Nd_2Fe_{14}B$ 薄膜の配向成長、基板加熱高速成膜による $Nd_2Fe_{14}B$ 厚膜の配向成長、さらに $SmFe_{12}$ 薄膜の配向成長について検討した。

3. 研究の方法

(1) Mo 中間層の導入による界面拡散の抑制： UHVD 法により、基板温度 $T_S = 300$ °C に加熱した $MgO(001)$ 基板に Mo 下地層(20nm)を成膜後、 $[Nd-Fe-B(30\text{ nm})/Mo(1\text{ nm})/\alpha$ -Fe(5 nm)/Mo(1 nm)]を 5 周期繰返し成膜し、Mo 保護膜(10 nm)を堆積させたものにポストアニール(PA)温度 $T_A = 700$ °C で熱処理を施して積層ナノコンポジット薄膜試料を作製した。比較のため、Mo 中間層無の試料も用意した。振動試料型磁力計(VSM)と超伝導量子干渉磁束計(SQUID)により磁気特性を評価・選別したものを、集束イオンビーム FIB (Versa 3D DualBeam) で薄片試料に加工し、高感度エネルギー分散型分光器(EDS)を装備した走査透過型電子顕微鏡 STEM (Titan Cubed) を用いて解析した。

(2) Nd-Fe-B 単層薄膜における NFB-seeds 導入による配向制御： UHVD 法により、Mo 下地層を成膜した $MgO(001)$ 基板に $T_S = 660$ °C で NFB-seeds を形成後、 $T_S = 300$ °C 成膜(LTD)あるいは 450 °C 成膜(HTD)により Nd-Fe-B 非晶質層を堆積させ、Mo 保護膜を付けて $T_A = 400 \sim 800$ °C の種々の PA 温度で結晶化させて、 $[MgO\text{-sub.}/Mo\text{-ul}(20\text{nm})/NFB\text{-seeds}/Nd\text{-Fe-B}(150\text{nm})/Mo\text{-cap}(10\text{nm})]$ 単層膜試料を作製した。比較のために、NFB-seeds 無および Nd-Fe-B 膜厚 50nm の試料も用意した。これらの試料を上記(1)と同様の磁気計測および超顕微解析により評価した。超顕微解析では STEM (JEM-ARM200F) に装備した ASTAR 装置を用いてプリセッション電子回折(PED)による結晶方位解析も行なった。

(3) Nd-Fe-B/ α -Fe 積層薄膜における NFB-seeds 導入による配向制御： UHVD 法により、 $[MgO\text{-sub.}/Mo\text{-ul}(20\text{nm})/NFB\text{-seeds}/NFB(50\text{nm})/Mo(0.3\text{nm})/Fe(10\text{nm})/Mo(0.3\text{nm})/NFB\text{-seeds}/NFB(50\text{ nm})/Mo\text{-cap}(10\text{ nm})]$ 積層ナノコンポジット薄膜試料を作製した。積層状態の改善を試みて Mo 中間層 1 nm 膜厚および 2 層目の NFB-seeds を低温堆積 Nd-seeds に改良した試料も用意した。これらの試料を上記(2)と同様の磁気計測および超顕微解析により評価した。

(4) 基板加熱高速 PLD 成膜による配向成長： 高速成膜 PLD 法により、7.5 rpm で回転させた $Nd_{3.4}Fe_{14}B$ ターゲットに YAG レーザーを照射し、 $T_S \approx 700$ °C に加熱した Ta 箔基板に堆積させて、約 15 μm 厚の Nd-Fe-B 厚膜試料を作製した。この厚膜試料を VSM 磁気測定および PED 方位解析を含む STEM 超顕微解析に供した。

(5) SmFe₁₂ 単層薄膜における配向成長： UHVD 法により $T_S = 350 \sim 475 \text{ }^\circ\text{C}$ の種々の温度で加熱した Mo/MgO(001) 基板に Sm₁₇Fe₈₃ 合金ターゲットを用いて Sm-Fe 層を成膜し、[MgO-sub./Mo-ul(20nm)/Sm-Fe(100nm)/Mo-cup(10nm)] 薄膜試料を作製した。VSM 測定を行って特徴ある磁気特性を示した $T_S = 370 \text{ }^\circ\text{C}$ と $410 \text{ }^\circ\text{C}$ の試料(UHV₃₇₀, UHV₄₁₀ と呼ぶ)を選択し、FIB 加工して STEM 超顕微解析に供した。

4. 研究成果

(1) Mo 中間層の導入による界面拡散の抑制

VSM 磁気計測の結果、膜面内(IP)と面直(OOP)に磁場印加した際の保磁力は、Mo 無試料では共に約 6 kOe でほぼ等方的であるのに対し、Mo 有試料では各々 2.5 kOe と 6.6 kOe となり磁気異方性を示した。超顕微解析の結果、Mo 無試料では Nd-Fe-B 層と Fe 層がいずれも微粒子の連なった組織となり、大きく乱れた界面であった。一方、Mo 有試料では Nd-Fe-B 層と Fe 層間に 1~2 nm ほどの非常に薄い Mo 層が均一な厚みで形成され、積層構造が保たれて平坦な接合界面が得られた(図 1(a))。STEM-EDS 解析および高分解能 TEM 観察の結果、Nd₂Fe₁₄B 結晶粒界で Mo 中間層が一部途切れて、Nd₂Fe₁₄B 層と α -Fe 層が接する箇所が観察された(図 1(c-e)中の矢印)。この部分で Nd₂Fe₁₄B と α -Fe に交換相互作用が働いて磁気異方性が現れた可能性がある。以上のように、低温成膜と Mo 中間層の挿入により Nd-Fe-B/ α -Fe 界面での拡散が抑制され、ほぼ設計通りの膜厚と良好な接合界面の積層ナノコンポジット薄膜を形成できることがわかった。ただし、Nd₂Fe₁₄B 層はランダム配向の多結晶粒で構成されており、更なる高性能化のためには配向成長が不可欠である。

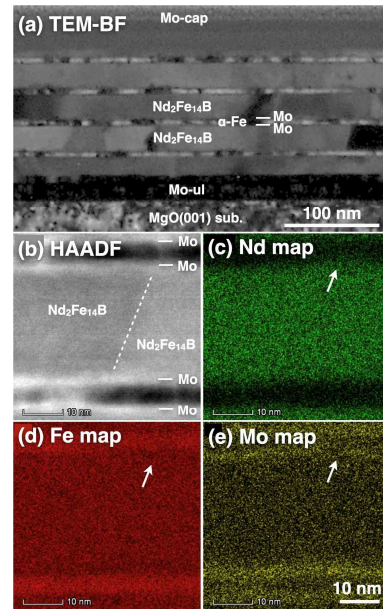


図 1 Nd₂Fe₁₄B/Mo/ α -Fe 積層薄膜の断面微細構造

(2) Nd-Fe-B 単層薄膜における NFB-seeds 導入による配向制御

磁気計測の結果、LTD では磁氣的に等方性を示したのに対し、HTD では OOP の残留磁化と保磁力が高く磁気異方性を示し、さらに膜厚 150 nm よりも 50 nm の方が異方性も角形性も向上した。超顕微解析の結果、膜厚 150 nm の HTD 試料は粒径 50-100 nm 程の Nd₂Fe₁₄B 結晶粒を主体とし、所々に NdO 結晶が分散した多結晶組織となっていた。NFB-seeds の影響を受けて配向成長したと思われる Nd₂Fe₁₄B 結晶粒も観察されたが、その数は期待したほど多くなかった。しかし、薄膜内部で核生成した Nd₂Fe₁₄B 粒の中にもほぼ配向したものが多く観察された。PA 処理前試料の STEM 観察より、Nd-Fe-B アモルファス層中に配向成長した NdO 柱状組織が観察された。NdO と Nd₂Fe₁₄B は結晶整合性が高い[6]ので、PA 処理時に NdO 柱状組織との界面で核生成して Nd₂Fe₁₄B 結晶が配向成長したものと考えられる。膜厚 50 nm では、Mo 下地層と接した幅 100 nm ほどの Nd₂Fe₁₄B 結晶粒がー列に並び、所々に NdO 結晶が分散した多結晶組織となった。PED 方位解析の結果、[001]極点図は 1 つの輝点となり、c 軸配向性の高い Nd₂Fe₁₄B 多結晶薄膜が形成できていることが判明した。以上のように、NFB-seeds 導入と $T_S = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ の HTD 成膜により Nd₂Fe₁₄B 多結晶薄膜の配向性を向上できることが明らかとなった。

(3) Nd-Fe-B/ α -Fe 積層薄膜における NFB-seeds 導入による配向制御

磁気測定の結果、Mo 中間層 0.3 nm 試料では NFB-seeds を導入することで IP と OOP での残留磁化に差ができて磁気異方性を示し、保磁力が増加して角形性も改善された。しかし、Mo 中間層 1.0 nm 試料では NFB-seeds を導入することで保磁力は増加するものの残留磁化が低下した。超顕微解析の結果、Mo 中間層 0.3 nm 試料では、粒径 50-100 nm 程の Nd 酸化物粒が数多く生成すると共に、中間の Fe 層が消失して Mo 微結晶が生成し、幅 100-200 nm で高さ 100 nm 程の角

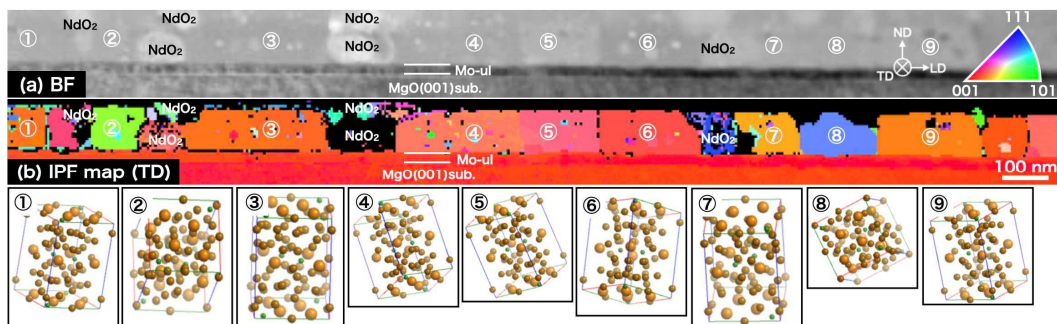


図 2 Nd₂Fe₁₄B/Mo/ α -Fe 積層薄膜の断面微細構造と Nd₂Fe₁₄B 粒の結晶方位解析

張った Nd₂Fe₁₄B 結晶粒から成る多結晶組織になっていた(図 2(a))。PA 処理前試料の STEM 観察

から、2層目の NFB-seeds を導入する際の基板加熱により 1層目の Nd-Fe-B 層が Fe 層を取り込んで結晶化し、積層構造が崩れることがわかった。PED 方位解析の結果(図 2(b))、2層目と一体化して成長した $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒は、膜面平行に c 軸配向したものが 1 割ほど混在していたが、ほとんどの $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒は膜面垂直にほぼ c 軸配向していることが確かめられた。Mo 中間層 1.0 nm 試料についても超顕微解析を行ったが、1.0 nm に厚くしても NFB-seeds 導入時の拡散は抑制できず、PA 温度を高めたことで更に配向性は悪化した。したがって NFB-seeds 導入は、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 多結晶薄膜の c 軸配向度の向上には有効であるが、ナノコンポジット積層膜の 2 層目以降への応用は困難である。そこで 2 層目には低温堆積で形成させた Nd-seeds を導入した改良型の積層ナノコンポジット薄膜試料を作製した。磁気測定の結果、高い磁気異方性を示し、保磁力も増加することが確かめられた。以上の結果から、Nd-Fe-B/ α -Fe 積層ナノコンポジット薄膜磁石では、高温成膜で形成させた $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 微結晶の NFB-seeds よりも、低温堆積で導入する Nd-seeds の方が配向界面制御にとって有効であることが明らかとなった。

(4) 基板加熱高速 PLD 成膜による配向成長

VSM 磁気計測の結果、1.2 T の残留磁化と 500 kA/m の保磁力を有する厚膜磁石であることがわかった。超顕微解析の結果、Ta 基板上に幅 2 μm で長さ 15 μm 程の柱状 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒がほぼ c 軸配向度をもって生成し、粒界には fcc-NdO 相が形成されていることが判明した。すなわち、加熱した高融点 Ta 基板に高速成膜するだけで、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相の表面エネルギーが最低となる (002), (004) などの最密原子面が基板と平行に成長し、面直方向に c 軸配向した柱状 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒からなる 15 μm を超える異方性 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 厚膜磁石を作製できることが明らかとなった。

(5) SmFe_{12} 単層薄膜における配向成長

VSM 磁気計測の結果、 UHV_{370} および UHV_{410} 試料のいずれも磁気異方性を示した。OOP を比べると、 UHV_{370} 試料では緩やかに減磁して 500 kA/m 弱の保磁力をもつのにに対し、 UHV_{410} 試料では急激に減磁した後で緩やかになってやや小さな保磁力を示した。超顕微解析の結果、Mo 下地層上にまず α -Fe の山脈状組織(図 3(a))が形成し、その上に幅 30-50nm の SmFe_{12} 柱状組織が $\text{MgO}(001)[100] // \text{Mo}(001)[110] // \alpha\text{-Fe}(001)[110] // \text{SmFe}_{12}(001)[100]$ の方位関係をもって生成していることがわかった。 UHV_{410} 試料においてもほぼ同様の微細組織が確認されたが、保磁力の低い UHV_{410} 試料の方が α -Fe 山脈状組織の生成量が少なく、生成した SmFe_{12} 柱状組織の c 軸配向度も向上していた。高分解能 STEM-HAADF 観察の結果、Mo 下地層上に α -Fe 相が界面転位を生成しながらエピタキシャル成長して山脈状組織を形成し、この α -Fe 相の(110)結晶格子を引き継いで SmFe_{12} 相が積層方向に c 軸配向して生成することが判明した。また、基板温度により α -Fe の生成量が変化し、 SmFe_{12} 結晶の配向度に影響を与えることが明らかとなった。

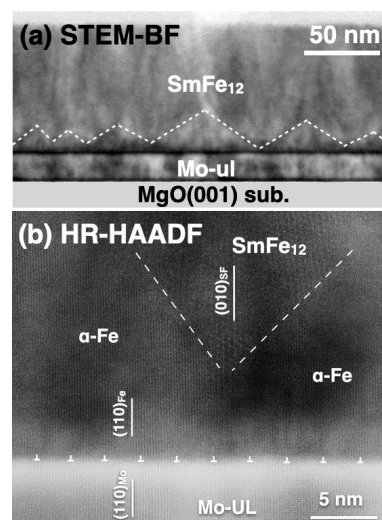


図 3 UHV_{370} 試料の(a)断面 STEM 明視野像と(b)高分解能 HAADF 像

以上のように、交換結合が有効に働く配向界面をもった積層型ナノコンポジット膜磁石の創製にとって、Mo 中間層挿入による界面拡散の抑制、および NFB-seeds や Nd-seeds 導入による低温堆積での配向成長の有効性が確かめられた。今後、さらに成膜条件の改良と配向メカニズムの詳細な検討を行うことで、積層型ナノコンポジット磁石膜の新展開が期待される。

< 参考文献 >

- [1] K. Kneller, R. Hawig, IEEE Trans. Magn. 27 (1991) 3588-3600.
- [2] M. Nakano et al., IEEE Trans. Magn. 2 (2007) 450-452.
- [3] 広沢哲, 省/脱 Dy ネオジム磁石と新規永久磁石の開発, CMC 出版 (2015) pp.234-244.
- [4] Y. Toga et al., J. Phys. 266 (2011) 012046-1-5.
- [5] D. Ogawa, K. Koike et al., Appl. Phys. Lett. 107 (2015) 102406-1-4.
- [6] M. Itakura, K. Koike et al., AIP Adv. 7 (2017) 035301-1-10.
- [7] K. Kobayashi, K. Koike et al., J. Phys. 903 (2017) 012015-1-3.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Koike Kunihiro, Uchida Tokunosuke, Sakurai Keiho, Inaba Nobuyuki, Kato Hiroaki, Itakura Masaru, Hara Shigeo, Saito Yu, Okubo Susumu, Ohta Hitoshi | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Infrared laser annealing of nanocomposite Nd ₂ Fe ₁₄ B/Mo/FeCo multilayered magnet films | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 035042 ~ 035042 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000346 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Itakura Masaru, Sugiyama Koichi, Akamine Hiroshi, Nishida Minoru, Nakamura Michihide, Mizoguchi Tetsuhiko, Iriyama Takahiko | 4. 巻 887 |
| 2. 論文標題 Suppression mechanism of abnormal grain growth by Zr addition in pressless processed Nd-Fe-B sintered magnets | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 161244 ~ 161244 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.161244 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Koike Kunihiro, Ohashi Kazuki, Suzuki Takuya, Okita Chihiro, Inaba Nobuyuki, Kato Hiroaki, Itakura Masaru, Hara Shigeo, Saito Yu, Okubo Susumu, Ohta Hitoshi | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Effect of Mo monoatomic interlayer on magnetic properties of in-plane anisotropic Nd-Fe-B/Mo/FeCo nanocomposite multilayered films | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 015134 ~ 015134 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000181 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 紺谷拓生, 赤嶺大志, 板倉賢, 入山恭彦 |
| 2. 発表標題 Tb粒界拡散Nd-Fe-B系焼結磁石の保磁力飽和と微細構造 |
| 3. 学会等名 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部・軽金属学会九州支部2021年度合同学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 仲嶋飛向, 古澤阜平, 内田徳之助, 小池邦博, 加藤宏朗, 稲葉信幸, 板倉賢, 齋藤佑, 大久保晋, 太田仁 |
| 2. 発表標題 改良された2ステップ法で作製されたNd-Fe-B磁石膜の異方化に与える堆積温度効果 |
| 3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 能勢二郎, 古賀詩悠, 赤嶺大志, 板倉賢, 仲嶋飛向, 古澤阜平, 小池邦博, 加藤宏朗 |
| 2. 発表標題 3Dシードを導入した異方性Nd-Fe-B薄膜の微細構造解析 |
| 3. 学会等名 第169回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Koike, K. Furusawa, H. Nakajima, N. Inaba, H. Kato, S. Hara, Y. Saito, S. Okubo, H. Ohta, M. Itakura |
| 2. 発表標題 Effects of 3D-Seeds on Microstructure and Magnetic Properties of Nd-Fe-B thin films |
| 3. 学会等名 15th Joint MMM-Intermag Conf. (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Koike, T. Uchida, K. Sakurai, N. Inaba, H. Kato, S. Hara, Y. Saito, S. Okubo, H. Ohta, M. Itakura |
| 2. 発表標題 Infrared Laser Annealing of Nanocomposite Nd-Fe-B/Mo/FeCo Multilayered Magnet Films |
| 3. 学会等名 15th Joint MMM-Intermag Conf. (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 倉員晃基, 赤木優介, 赤嶺大志, 板倉賢, 川上修平, 和田梢, 片山信宏 |
| 2. 発表標題 Nd-Fe-B 系 HDDR 磁粉の保磁力劣化に伴う微細組織変化 |
| 3. 学会等名 第170回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 古澤阜平, 小池邦博, 加藤宏朗, 稲葉信幸, 古賀詩悠, 板倉賢, 齋藤佑, 大久保晋, 太田仁 |
| 2. 発表標題 3Dシードを導入したNd-Fe-B薄膜の垂直磁気異方性に与えるNd-Fe-B堆積温度の影響 |
| 3. 学会等名 第167回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 内田徳之助, 櫻井慧歩, 小池邦博, 加藤宏朗, 稲葉信幸, 板倉賢, 原茂雄, 齋藤佑, 大久保晋, 太田仁 |
| 2. 発表標題 赤外レーザーアニールしたNd-Fe-B/Mo/FeCoナノコンポジット積層膜の磁気特性 |
| 3. 学会等名 第167回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 古賀詩悠, 赤嶺大志, 板倉賢, 西田稔, 古澤阜平, 小池邦博, 加藤宏朗 |
| 2. 発表標題 配向制御を目指したNd-Fe-B薄膜磁石の微細構造解析 |
| 3. 学会等名 第167回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Koike, K. Ohashi, T. Suzuki, C. Okita, N. Inaba, H. Kato, M. Itakura, S. Hara, Y. Saito, S. Okubo, and H. Ohta |
| 2. 発表標題 Effect of Mo Monoatomic Interlayer on Magnetic Properties of In-Plane Anisotropic Nd-Fe-B/Mo/FeCo Nanocomposite Multilayered Films |
| 3. 学会等名 2020 MMM Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 常澤佑太, 小池邦博, 水野善幸, 板倉賢, 大久保晋, 土浦宏紀, 加藤宏朗 |
| 2. 発表標題 MgO(001)/Mo上に形成されたSmFe12薄膜の磁気特性 |
| 3. 学会等名 第168回日本金属学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-----------------------------------|----|
| 研究分担者 | 中野 正基 (Nakano Masaki) (20274623) | 長崎大学・工学研究科・教授 (17301) | |
| 研究分担者 | 小池 邦博 (Koike Kunihiro) (40241723) | 山形大学・大学院理工学研究科・准教授 (11501) | |
| 研究分担者 | 赤嶺 大志 (Akamine Hiroshi) (40804737) | 九州大学・総合理工学研究院・助教 (17102) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|