

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02173

研究課題名（和文）多周期積層による面内異方性制御した希土類系厚膜磁石の超小型デバイス応用

研究課題名（英文）Rare-earth thick film magnets with in-plane anisotropy prepared by multi-layers and the application to miniaturized devices

研究代表者

中野 正基（NAKANO, MASAKI）

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：20274623

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：小型デバイスへ開発の進展に貢献する厚膜磁石の創製を目指し、高速成膜パルスレーザー蒸着(PLD)法を用い、(1)Si基板上の自然・熱酸化膜とNd-Fe-B系磁石膜の密着性の調査、(2)PLD法によるガラス膜の創製とガラス膜を下地層とした際のNd-Fe-B系磁石膜のマイクロ着磁特性、(3)ガラス層と -Fe(Fe-Co) 磁性層の多周期積層化、(4)Nd-Fe-B層の酸化抑制を考慮したガラス層の代替材料であるAl-O層の利用、(5)Al-O層と -Fe 磁性層の多周期積層膜化の5つの内容を検討した。これらを基に、Nd-Fe-B系磁石膜と非磁性層の多周期積層化に関する基礎的知見の獲得を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境・エネルギー問題の解決に貢献する「永久磁石」の小型電子デバイスへの搭載が熱望される中、「Si基板への永久磁石の搭載やその小型・高性能化」は課題を抱えている。そういう中、研究代表者は、金属基板上に、独自の「高速・成膜技術（高速PLD法）」を用いたサブミリの厚の「Nd-Fe-B系厚膜磁石」を作製し、超小型デバイスを発信してきた。本研究では、新たな発想の下、Si基板上に磁石膜（磁性膜）と非磁性膜との積層構造を構築した材料作製を進め、厚膜磁石の開発を通じた学術的知見の獲得と共に、エネルギーハーベストや小型アクチュエータといった次世代デバイスの開発に応用可能な材料開発を大学より発信する意義も有する。

研究成果の概要（英文）：To prepare thick-film magnets applied to small devices, we systemically investigated the following five contents by using pulsed laser deposition (PLD) method with the high deposition rate. (1) Investigation of adhesion between Si substrates with natural or thermal oxidize layers and Nd-Fe-B film magnets, (2) Micro-magnetization of Nd-Fe-B film magnets on PLD-made glass films, (3) Preparation of glass and -Fe(Fe-Co) multi-layered films, (4) Use of Al-O layer as an alternative material for glass layer considering oxidation suppression of Nd-Fe-B films, (5) Preparation of Al-O and -Fe multi-layered films. Considering the above-mentioned results, we attempted to obtain fundamental data of multilayered films consisting Nd-Fe-B layers and non-magnetic layers (glass or Al-O layers).

研究分野：電気電子材料

キーワード：厚膜磁石 多周期積層 PLD 小型デバイス 非磁性層 ガラス膜 Al-O膜

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我々は、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）材料としての利用が期待される Nd-Fe-B 系厚膜磁石[1][2]の開発を目指し、紫外線波長のパルスレーザを Nd-Fe-B 系ターゲット表面に Defocus させ照射し、真空中で数ミクロン径の微粒子を創製ひいては Si 基板上への堆積させる手法[3]により、0.01 mm 厚以上の Nd-Fe-B 系厚膜磁石の作製を進めてきた。その際、金属材料である Nd-Fe-B 系厚膜磁石を半導体材料である Si 基板上に作製するポイントとして、Si と Nd₂Fe₁₄B の間（あいだ）の線膨張係数を有する Nd に着目し、熱処理による結晶化過程において、①粒界相、②三重点、③基板と磁石膜の界面に Nd を析出させる様な組成制御を行うことにより、上記の内部応力の低減、ひいては剥離現象の回避に取り組み、Nd-Fe-B 系厚膜磁石の 0.16 mm までの厚膜化を実現してきた。[4]その一方で、Nd 元素の析出に伴う試料内の過剰な Nd 含有量は、残留磁気分極や(BH)_{max} の劣化を生じさせる課題が生じた。

本研究では、MEMS 用厚膜磁石として、磁気特性・機械特性の向上、マイクロ着磁、多周期積層化に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究では、Nd 含有量を抑制しつつ、剥離・破壊を生じさせない手法として、最初に Si 基板と Nd-Fe-B 系厚膜磁石の間にガラス下地層を挿入する事を提案した。下地層にガラスを利用したもう一つの理由は、厚膜磁石から発生する磁界の有効利用を鑑みた Si 基板上へのマイクロ着磁の実現するためである。更に、本研究では、「超小型デバイス」の具現化を目指し、Si 基板上に作製する Nd もしくは Pr-Fe-B 系厚膜磁石から発生する磁界の「大幅な増加」を目指し、厚膜磁石とガラス膜や Al-O 膜（下地層）を組み合わせた試料開発、小型デバイス応用に際して有効と考えられる面内配向の Nd-Fe-B 系磁石膜を非磁性層（ガラス層・Al-O 層）との多周期積層化を系統的に検討し、デバイス応用に関する材料開発に関する基礎的な知見獲得を目指す。

3. 研究の方法

- (1) Si 基板上酸化膜（自然酸化膜・熱酸化膜）が Nd-Fe-B 系磁石膜堆積時の試料破壊に及ぼす影響
厚膜磁石の Si 基板への密着力に寄与する Si 基板直上の酸化膜に着目し、作製時の破壊現象や磁気特性を系統的に検討した。具体的には、自然酸化膜、熱酸化膜：20、100 ならびに 500 nm 厚の Si 基板を準備し、Nd-Fe-B 系厚膜磁石を成膜した後、厚膜磁石の結晶化を促すために熱処理を施した際の Si 基板からの①厚膜磁石の剥離現象や②基板の破壊現象を観察し、そのメカニズムを考察した。
- (2) ガラス下地層挿入による Nd-Fe-B 系磁石膜のマイクロ着磁
Si 基板と Nd-Fe-B 系磁石膜の間にガラス膜（Si と Nd₂Fe₁₄B との間の線膨張率を持つガラス膜）を堆積させた磁石膜の磁気特性を検討すると共に、Si 基板上にガラス下地層を用いることによって、Si 基板上の厚膜磁石に対し、初めてマイクロ着磁の可能性を検討した。
- (3) ガラス層と α-Fe(Fe-Co)磁性層の多周期積層化
(2)の実験成果を下に、スパッタリング法に比べ、多周期積層化に有利な PLD(Pulsed Laser Deposition)法を用い、100 層を超える金属とガラスの積層膜の作製を検討した。具体的には、α-Fe(Fe-Co)とガラスを複合したターゲットを利用し、成膜時のターゲット回転による多周期積層化を狙った。本研究の目的は、将来的な Nd-Fe-B 膜とガラス膜の多周期積層化の基礎的知見を得る事である。
- (4) Nd-Fe-B 層の酸化抑制を考慮したガラス層の代替材料である Al-O 層の利用
ガラス下地層を用いた際の厚膜磁石における角型性能劣化の要因として、ガラス下地層の表面粗さによる局所的な反磁界の発生を考慮し、ガラスに比べ高いビッカース硬度を持つアルミナ（Al₂O₃）をターゲットとしたガラスに比べ表面平滑性が優れた「Al-O 下地層」の作製に取り組んだ。
- (5) Al-O 層と α-Fe 磁性層の多周期積層化
(3)の実験を通じ、α-Fe(Fe-Co)層とガラス層の 100 周期を超える多周期積層化は実現できたものの、一部にガラスの粗大粒子が含まれ、試料全体に均質な積層構造を形成することは困難であった。本研

究では、ガラスに比べビッカース硬度や融点が高く、粗大粒子の発生の抑制が期待される Al_2O_3 を用い、多周期積層膜の作製を検討した。

4. 研究成果

(1) Si 基板上酸化膜（自然酸化膜・熱酸化膜）が Nd-Fe-B 系磁石膜堆積時の試料破壊に及ぼす影響
Nd-Fe-B 系厚膜磁石の Nd 含有量($\text{Nd}/(\text{Nd}+\text{Fe})$)を約 20 at.%で固定した際、酸化膜の厚みの増加に伴い、熱処理時に「厚膜磁石の剥離」や「Si 基板内部からの破壊」が生じない試料の厚膜化の限界値（最大膜厚）を増加できる事が明らかとなった。具体的には、自然酸化膜もしくは熱酸化膜：20 nm 厚の Si 基板上の厚膜磁石では、Si 基板から厚膜磁石が剥離するのに対し、100 nm 厚の熱酸化膜を持つ Si 基板上の試料では、剥離ではなく、Si 基板内部より破壊した。この結果より、100 nm 厚の熱酸化膜を持つ Si 基板と厚膜磁石は強い密着性が示唆され、酸化膜の膜厚の増加に伴い、Si 基板と厚膜磁石の密着力が向上する事が明らかとなった。試料の破壊現象が酸化膜の厚みで異なる原因を調べるために、500 nm 厚の熱酸化膜付き Si 基板上の試料における熱処理後の微細構造とその元素分布を観察したところ、図 1 に示す様に、Si 基板と Nd-Fe-B 系厚膜磁石の界面に Fe, Si, O 元素よりなる約 100 nm 厚の化合物層（Fe シリサイド化合物）が確認された。この化合物は酸化膜の厚みの増加に伴い、形成しやすくなると推察され、厚膜磁石の剥離より Si 基板の破壊現象へ変化した一つの理由と考えられる。これらの成果は、学術論文[5]に公表された。

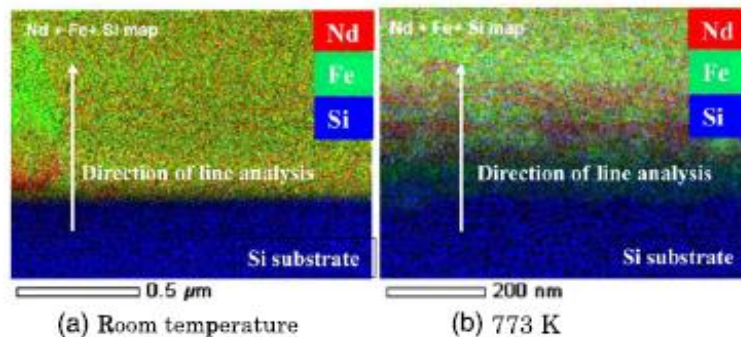


図 1 熱処理前後の Si 基板と厚膜磁石の界面の元素分布[5]

(2) ガラス下地層挿入による Nd-Fe-B 系磁石膜のマイクロ着磁

ここでは、「基板と磁石膜の界面の Nd-rich 層 Nd-Fe-B 相やガラス下地層の人工的な挿入」を検討し、これまで、スパッタリング法[2]や PLD 法[6]で用いた Ta 下地層（Si 基板と Nd-Fe-B 系磁石膜の間の線膨張係数）を挿入する方法に比べ、①エッチング困難な Ta 層を利用しない、②シリコン基板上でのマイクロ着磁を実現可能といった成果を検討した。その結果、ガラス下地層付き Si 基板上 Nd-Fe-B 系厚膜磁石の破壊が生じない条件として、Nd 含有量 14.0～16.5 at.%, ガラス下地層厚：17～86 μm , Nd-Fe-B 系厚膜磁石の厚み：17～60 μm の範囲において、磁気特性や角型性向上に対し最適なパルス熱処理時間 3.6～4.0 s である事を見出した。更に、各層の厚みの比 = (厚膜磁石の厚み) / (ガラス下地層の厚み) の増加により、保磁力が向上し、その膜厚比が、角型性（磁気特性）向上に対し重要なパラメータの一つである事が明らかとなった。これらの関係を整理した結果を表 1 に[7], ガラス下地層付き Si 基板上厚膜磁石にマイクロ着磁を実現した結果を次頁の図 2 に示す。[8]

表 1 ガラス下地層付き Si 基板上 Nd-Fe-B 系厚膜磁石の磁気特性（角型性）とパラメータの関係[7]

	Nd contents	Thickness of glass films	Thickness of film magnets	Thickness ratio
$(BH)_{\text{max}}$	×	×	○	○
Coercivity	×	×	○	○
Remanence	△	△	○	○
Squareness	Constant	Constant	○	○

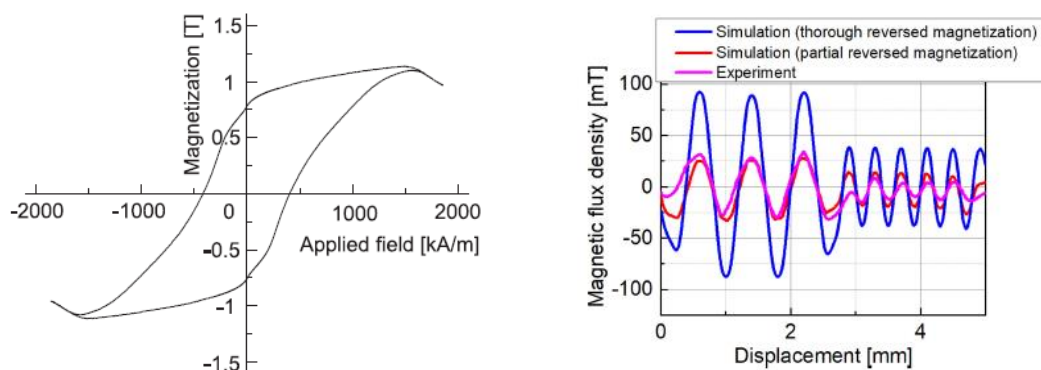


図2 マイクロ着磁を施した試料のJ-Hループ（左図）とマイクロ着磁の様子 [8]

(3) ガラス層と α -Fe(Fe-Co)磁性層の多周期積層化

金属ターゲットの表面をガラスで覆う複合(2層構造)ターゲットでの積層膜の作製を検討した際、ガラスの被覆率の増加に伴い、最大磁気分極が低下する傾向を確認した。ガラス被覆率: 20%の試料をTEMにより微細構造観察を行った結果、膜の上半分は、ガラスがほとんど観察されず、Fe-Co層のみが形成されていた。成膜後のターゲットを観察すると、成膜時の途中より、上層のガラスターゲットがレーザーにより貫通していた事より、Fe-Co層のみが上部に形成されたものと考えられる。一方、下半分は大きなガラス粒子は見られるものの、Fe-Coとガラスによる積層構造が一部の領域に形成されていることが明らかとなった。この積層部分を拡大した結果を図3(左図)に示す。約20nm厚のFe-Co層と約10nm厚のガラス層が交互に積層(黒: Fe-Co層, 白: ガラス層), 具体的には140層程度形成され、2 μ m厚程度の積層構造が形成されている事を確認した。更に、金属/ガラス/金属で構成された複合(3層構造)ターゲットにおいても同様な検討をした結果、図3(右図)の概観図が示す様に、大きなガラス粒子は存在するものの、数 μ mの領域に多周期積層構造が形成されている様子が観察された。これらの成果は、学術論文[9]に公表された。

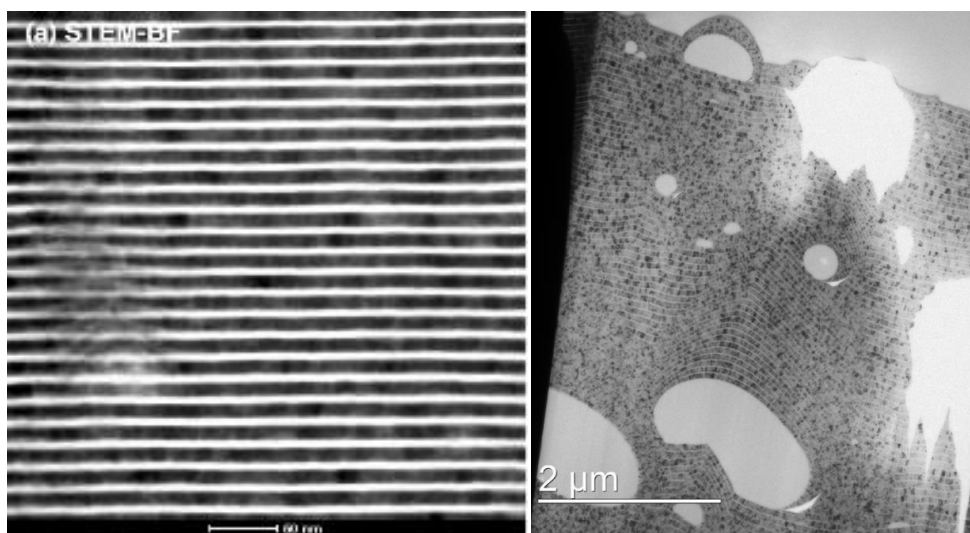


図3 2層構造ターゲットと3層構造ターゲットにより作製された多周期積層膜[9]

(4) Nd-Fe-B層の酸化抑制を考慮したガラス層の代替材料であるAl-O層の利用

現状、厚膜磁石の厚み: 57 μ m, Al-O膜の厚み: 68 μ m, Nd含有量: 14.7%の試料を作製した結果、ガラス下地層の試料で示した最大の保磁力値に近い920 kA/mの値を得ると共に、次頁の図4に示す様に、ガラス下地層の試料と比べ角形性が向上することが明らかとなった。その一方で、Al-O下地層を用い際に、Si基板内部からの破壊現象が観測されており、今後の課題として示唆された。これらの成果は、学術論文[10]に公表される予定である(採択済み)。

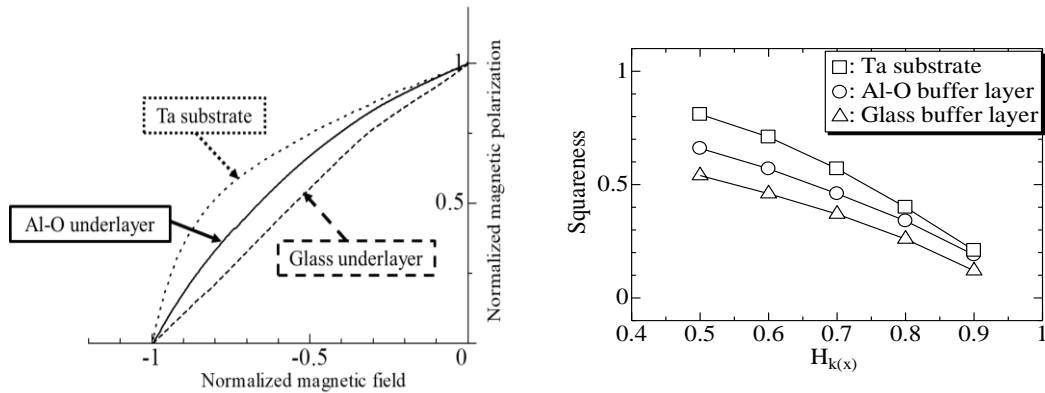


図4 ガラス下地層, Al-O 下地層, Ta 基板上に作製した Nd-Fe-B 系厚膜磁石の減磁曲線 (左図) と角型性の減磁界依存性を示した右図[11]

(5) Al-O 層と α -Fe 磁性層の多周期積層化

(3), (4)の結果を踏まえ, 線膨張係数や熱伝導率がガラスの値に近く, ガラス層に比べ Nd-Fe-B 系磁石膜に対し酸化などの影響が小さい Al-O 層と α -Fe 層の多周期積層膜の作製を 2022 年度後半より開始した。データ数が少なく, 作製条件の最適化を進めている途中である。将来的に, ガラス層/Nd-Fe-B 系磁石層と共に, Al-O 層/Nd-Fe-B 系磁石層への開発を進める予定である。

以上の基礎的知見を踏まえ, 多周期積層による面内異方性制御した希土類系厚膜磁石の新展開が期待される。

<参考文献>

- [1] A. Walther, C. Marcoux, B. Desloges, R. Grechishkin, D. Givord, N. M. Dempsey, J. Magn. Mater. vol. 321, pp. 590-594, 2009.
- [2] R. Fujiwara, T. Shinshi, and M. Uehara, Int. J. Autom. Technol., vol. 7, pp. 148-155, 2013.
- [3] M. Nakano, S. Tsutsumi and H. Fukunaga, IEEE Trans. Magn., vol. 38, pp. 2913-2915, 2002.
- [4] M. Nakano, Y. Chikuba, M. Oryoshi, A. Yamashita, T. Yanai, R. Fujiwara, T. Shinshi, and H. Fukunaga, IEEE Trans. Magn., vol. 51, pp. #2102604, 2015.
- [5] M. Nakano, S. Takeichi, T. Yamaguchi, K. Takashima, A. Yamashita, T. Yanai, T. Shinshi, and H. Fukunaga, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 59, pp. #SEEE01(2020).
- [6] T. Nguyen Van et al., JMMM., vol. 520, 167584(2021).
- [7] M. Nakano, K. Higuchi, H. Yamaguchi, I. Fukuda, A. Yamashita, T. Yanai, T. Shinshi, and H. Fukunaga, AIP Adv., vol. 13, pp. #025131(2023).
- [8] D. Han, T. Shinshi, K. Nagai, M. Momosaki, and M. Nakano, IEEE Magn. Lett. Vol. 11, pp. #8103804, 2020.
- [9] M. Nakano, M. Itakura, H. Kaku, A. Yamashita, T. Yanai, and H. Fukunaga, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 62, pp. #SB1006(2022).
- [10] H. Yamaguchi, K. Higuchi, H. Kaku, A. Yamashita, T. Yanai, H. Fukunaga, K. Nagai, T. Shinshi, and M. Nakano, IEEE Trans. Magn. (To be published)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4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 Han Dong, Shinshi Tadahiko, Nagai Keita, Momosaki Mizuki, Nakano Masaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Microlinear Halbach Array of Thick-Film Nd-Fe-B Magnets Utilizing Local Laser Irradiation and a Direction-Changeable External Magnetic Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Magnetism Letters	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMAG.2020.3006785	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 Nakano Masaki, Momosaki Mizuki, Matsuoka Ryohei, Yamashita Akihiro, Yanai Takeshi, Fukunaga Hirotochi	4. 巻 141
2. 論文標題 Preparation of Nd-Fe-B Thick-film Magnets Deposited on Si Substrates with Each Glass Buffer Layer and their Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 128 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.141.128	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 Nakano M., Takashima K., Yamashita A., Yanai T., Fukunaga H.	4. 巻 502
2. 論文標題 Relationship between target materials and various properties of PLD-made isotropic Nd-Fe-B films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166557 ~ 166557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.166557	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 Nakano Masaki, Takeichi Sho, Yamaguchi Takashi, Takashima Keisuke, Yamashita Akihiro, Yanai Takeshi, Shinshi Tadahiko, Fukunaga Hirotochi	4. 巻 59
2. 論文標題 Comparison of properties between Pr-Fe-B and Nd-Fe-B thick-film magnets applied to MEMS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SEEE01 ~ SEEE01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5534	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 Nakano M., Higuchi K., Yamaguchi H., Fukuda I., Yamashita A., Yanai T., Shinshi T., Fukunaga H.	4. 巻 13
2. 論文標題 Improvement of the magnetic properties of Nd-Fe-B/glass two-layer films deposited on Si substrates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025131 ~ 025131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000599	査読の有無 無
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 Nakano Masaki, Itakura Masaru, Kaku Hibiki, Yamashita Akihiro, Yanai Takeshi, Fukunaga Hirotoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Formation of Fe ₂ Co/glass multilayer films via pulsed laser deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1006 ~ SB1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac9144	査読の有無 無
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18件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 成膜プロセスを用いた厚膜磁石の開発
3. 学会等名 日本ボンド磁性材料協会 (第97回技術例会) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 小型デバイスへの応用を鑑みた等方性磁石材料の開発
3. 学会等名 第21回 九州・山口・沖縄磁気セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 Preparation of Fe-Pt thin-sheet magnets using exfoliation behavior
3. 学会等名 MMM-Intermag Joint Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 樋口晃太, 福田樹, 高嶋恵佑, 山下昂洋, 柳井武志, 中野正基, 福永博俊, 進士忠彦
2. 発表標題 MEMS応用に向けた Nd-Fe-B 系厚膜磁石の開発
3. 学会等名 第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 小型デバイス応用を鑑みた厚膜磁石の開発
3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 Magnetic properties and mechanical characteristic of Fe-Pt thin sheet magnets prepared using exfoliation behavior
3. 学会等名 Joint European Magnetic Symposia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡諒, 奥光, 高嶋恵佑, 山下昂洋, 柳井武志, 中野正基, 福永博俊
2. 発表標題 ガラス/Fe-Co複合ターゲットを用いた高周波用磁性膜の開発
3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡凌平, 樋口晃太, 高嶋恵佑, 山下昂洋, 柳井武志, 中野正基, 福永博俊
2. 発表標題 PLD 法を用い作製した Si 基板上の R (Nd or Pr or Ce) -Fe-B 系磁石膜の磁気特性と機械的性質
3. 学会等名 2020年度 (第73回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桃崎瑞貴, 堀川誉, 高嶋恵佑, 山下昂洋, 柳井武志, 中野正基, 福永博俊
2. 発表標題 Si 基板の酸化層が Nd-Fe-B 系磁石膜の堆積現象に及ぼす影響
3. 学会等名 2020年度 (第73回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 Preparation and deposition of Pr-Fe-B permanent magnet powder using pulsed laser
3. 学会等名 ICF2019 (International Conference on Ferrites2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 小型デバイスへの応用を目指した希土類系・白金系厚膜磁石の開発
3. 学会等名 SEAD31 (「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム31) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 希土類系・白金系厚膜磁石 (ミニマグ) の開発
3. 学会等名 第29回日本磁気歯科学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 PLD-fabricated Pr-Fe-B thick film magnets applied to small motors
3. 学会等名 The 2019 Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 Relationship between target materials and various properties of PLD-made isotropic Nd-Fe-B films
3. 学会等名 The Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Nakano
2. 発表標題 Comparison of properties between Pr-Fe-B and Nd-Fe-B thick-film magnets applied to MEMS
3. 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium(MORIS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 PLD法による希土類系サブミリ厚磁石の開発
3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 パルスレーザを利用したPr-Fe-B系永久磁石粉末の作製と堆積
3. 学会等名 粉末冶金協会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野正基
2. 発表標題 アモルファス粉末粒子を高速熱処理により作製したナノ結晶厚膜磁石の超小型モータへの応用
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

中野・柳井研究室
<http://www.eee.nagasaki-u.ac.jp/labs/magnet/index.html>

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	福永 博俊 (Fukunaga Hirotoshi) (10136533)	長崎大学・工学研究科・理事 (17301)	
研究分担者	板倉 賢 (Itakura Masaru) (20203078)	九州大学・総合理工学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	柳井 武志 (Yanai Takeshi) (30404239)	長崎大学・工学研究科・准教授 (17301)	
研究分担者	進士 忠彦 (Shinshi Tadahiko) (60272720)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	

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
---------	---------