

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：71301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03420

研究課題名(和文)新しい磁気光学効果を示すナノグラニューラー透明強磁性材料の開発

研究課題名(英文) Development of nanogranular transparent ferromagnetic material with new magneto-optical effect

研究代表者

小林 伸聖 (Kobayashi, Nobukiyo)

公益財団法人電磁材料研究所・その他部局等・研究員(移行)

研究者番号：70205475

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)：グラニューラーに磁化の大きなFeCo合金、マトリックスに透光性を有するフッ化物を用いたナノグラニューラー膜を作製したところ、光透過性と強磁性を併せ持つ材料が得られた。そのファラデー効果を検討した結果、FeCo-YF膜に関し、波長1550 nmにおいてBi-YIGの約40倍ものファラデー回転角を示すことが分かった。さらに、ナノグラニューラー膜の実用特性に着目し、性能指数の向上を検討した。光透過特性に優れたFeCo-BaF系膜に着目し、成膜時の基板温度と熱処理の条件を調整することにより、ファラデー回転角と光透過率の両方が向上することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ファラデー効果を示す材料は、光アイソレーターなど、光通信システムに広く用いられている。1972年にBi-YIGが発見されて以来、これを超えるファラデー回転角を有する物質は見つかっていない。さらに、光デバイスの小型化および集積化には、材料の薄膜化が必須である。本成果は、全く新しいファラデー効果材料を提案するものであり、ファラデー回転角はBi-YIGの約40倍(1550 nm)の大きな値を有し、薄膜であって、新しい光デバイスの開発に大きく寄与する。本成果はScientific Reports誌に掲載され、同誌の2018年物理系論文での閲覧数が100位以内となり、世界的な評価と注目を受けた。

研究成果の概要(英文)：We investigated nanogranular films including FeCo alloy granule with large magnetization and fluoride matrix with transparency. These films have ferromagnetic property and high optical transparency in the visible light region. Furthermore (Fe, FeCo)-(Al-,Y-fluoride) nanogranular films show giant Faraday effect. It is 40 times larger than that of Bi-YIG at the wavelength used for optical communication (1550 nm). In order to use a nanogranular film for an optical device, it is necessary that both the Faraday rotation angle and the light transmittance are large, that is, the figure of merit is high. Nanogranular films with BaF matrix have a good figure of merit of Faraday effect based on crystallinity of the matrix. The figure of merit of these films is increased by fabricated on a heated substrate and subsequent annealing.

研究分野：磁性薄膜、磁気センサ

キーワード：ナノグラニューラー 磁気光学効果 ファラデー効果 磁性薄膜 磁気誘電効果 多機能性 透明強磁性体 フッ化物

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、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

一つの物質で複数の特性を有する多機能性材料が注目されており、マルチフェロイック等の、磁気と誘電の両方の機能性を有し、さらに2つの機能性の相互作用である磁気誘電効果を発現する材料が精力的に検討されている。そして多機能性材料は、各種センサ、トランスデューサー、マイクロ波デバイス、メモリ、磁気記録読み取りヘッドなど、様々なデバイスへの応用が期待されている。しかし、これまでに提案されている材料系は限られており、またそれらの磁気誘電効果は、室温以下の低温でなければ発現しないか、室温以上であってもその効果は小さく、実用のレベルにほど遠い状況である。これは、それらの材料の磁気転移温度が室温よりも低いことに起因している。

この状況にあって、我々は、「ナノグラニューラ膜」において、約3%の磁気誘電効果現象を見いだした〔小林ら, nature communications, 5:4417, DOI:10.1038/ncomms5417 (2014)〕。ナノグラニューラ膜は、ナノメートルサイズの磁性金属グラニューラがセラミックスのマトリックスに分散したナノ構造を有する。この磁気誘電効果は、新しい物性メカニズムに基づいている。すなわち、一対の磁性グラニューラペア間のスピン依存トンネル電荷分極に基づくトンネル磁気誘電(tunneling magneto-dielectric : TMD)効果によって説明される。磁気誘電効果の他にも、ナノグラニューラ膜はその微細構造に起因したユニークな機能性を発揮する。磁性金属の含有量が高い場合は強磁性を示し、GHz帯域の高周波において優れた透磁率特性を示す。一方、絶縁体の含有量が多い場合は超常磁性を示し、トンネル型磁気抵抗効果を示す。ナノグラニューラ膜は、再現性や耐熱性が良いなどの実用上の利点を有しており、我々はこれらのナノグラニューラ膜の特長を生かした超小型高感度磁気センサの実用化に成功した〔小林ら, J. Magn. Magn. Mater., 188,30 (1998)〕,〔小林ら, 特許第3640230号〕。

加えて、最近明らかになったナノグラニューラ膜の機能性に、光機能性がある。マトリックスを成すセラミックスにおいて、特にフッ化物は、良好な光透過性を有する光学材料である。これによって、マトリックスがフッ化物結晶から成るナノグラニューラ膜は、ナノグラニューラに起因する磁性とマトリックスに起因する光学特性を併せ持つ。我々は、ナノグラニューラ膜の光学特性に着目し、新たな光-磁気機能を示すナノグラニューラ膜についての研究計画を提案した。

## 2. 研究の目的

ナノグラニューラ膜は、再現性や耐熱性が良く、さらに室温で0.1 T程度の磁化を有し、室温以上の温度環境で機能特性を発揮するなど、実用上の優位点を持つ。本研究では、このナノグラニューラ膜の特長を更に発展させ、新規な磁気光学特性を有する多機能材料の開発を目指す。すなわち、透光性マトリックス中にナノ磁性粒子を分散させた特殊なナノグラニューラ膜を合成し、新たな光-磁気-誘電の多機能材料を探索する。ナノグラニューラ膜の機能性は、合成する膜組成や膜構造の制御によって様々な変化させることができる。膜組成に関しては、グラニューラを成す物質とマトリックスを成す物質のそれぞれの選択と組み合わせが考えられる。また膜構造の制御については、グラニューラの粒径、粒径分布、分散状態、結晶性など、またマトリックスの結晶性や配向など、さらにグラニューラとマトリックスの界面構造など、多くの要素が考えられる。本研究で検討する組成系としては、とくに光透過性が優れている  $\text{AlF}_3$ 、 $\text{BaF}_2$  などのフッ化物、さらに磁性を持つ希土類元素を含む  $\text{YF}_3$  などの希土類系フッ化物をマトリックスとし、グラニューラには  $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Fe-Co}$  合金などの強磁性金属を選択し、作製条件を制御して薄膜試料を合成し、膜組成および作製条件と多機能性の関係を明らかにする探査的実験を実施する。さらに、得られた薄膜試料の構造解析を行い、膜構造と多機能性の関係を明らかにする。

## 3. 研究の方法

膜組成に関しては、磁性ナノグラニューラには強磁性元素の単体か合金、マトリックスには良好な光透過性を有するフッ化物を選択する。具体的には、強磁性金属である  $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Fe-Co}$  合金のターゲットと、 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{BaF}_2$  フッ化物焼結ターゲットを原料として薄膜試料を作製する。薄膜試料は、ANELVA-SPF-332HS スパッタ成膜装置を用いたタンデム法〔小林ら, J. Magn. Soc. Japan, 23,76(1999)〕で作製する。タンデム法とは、金属ターゲットとフッ化物ターゲットの直上を基板が交互に通過するように基板ホルダーを回転させて薄膜を作製する方法であり、膜組成依存とは独立にグラニューラの粒径を制御することが可能である。ナノグラニューラ膜の誘電特性を説明する TMD 効果の理論考察に基づくと、膜中のグラニューラの数密度が高いほど誘電率が大きくなると共に大きな TMD 効果が得られる。誘電率は光透過率などの光学特性に関係しているため、大きな TMD 効果は大きな磁気光学効果の発現をもたらす可能性がある。膜中のグラニューラの数密度を上げるためには、膜中の金属磁性成分の含有量を多くすれば良い。一方、磁性金属グラニューラの含有量が増加すると光透過性を担うフッ化物マトリックスの体積比率が減少するため、膜の光学特性が損なわれることが考えられる。このことから、光透過性を保った状態で高い誘電特性を得るために、グラニューラとマトリックスの組成比の最適化を行う。さらには、スパッタ薄膜の結晶性は、成膜時の成長温度に大きく依存することから、基板を加熱す

ることよって、膜中の磁性ナノグラニュールおよびマトリックスの結晶性や配向性の制御を行う。前述のスパッタ装置は、成膜時の基板温度を水冷～800 の範囲で制御が可能であり、種々の温度に加熱した基板の上に、磁性金属量とマトリックス量を変えた薄膜を作製する。

得られた薄膜試料について、その誘電特性、磁気特性および磁気誘電効果を検討する。磁気特性は試料振動型磁力計で測定し、誘電特性および TMD 効果は磁界中プローバーおよびネットワークアナライザーを用いて測定する。光特性については、磁気光学効果測定には 6 波長光源ファラデー効果測定装置を用い、光透過率測定には新現象を確実に捉える必要があるため高精度の計測が必要であり、高感度 CCD 検出器を備えた磁界印加高感度光透過率測定装置を用いる。ナノグラニューラ膜の機能性は、膜のナノ構造に起因するので、得られた薄膜試料に対し、膜構造を BRUKER-DISCOVER 多機能材料解析 X 線回折装置を用い詳細に解析する。本 X 線回折装置の薄膜構造解析機能や小角散乱測定機能を駆使し、結晶性のみならず、ナノグラニュールの粒径分布や形状を評価する。膜構造と諸特性の測定結果を比較検討することによって、ナノグラニューラ膜の多機能性の物性メカニズムを解明する。

#### 4. 研究成果

ナノグラニューラルに磁化の大きな FeCo 合金、マトリックスに透光性を有するフッ化物セラミックスを用いたナノグラニューラ膜を検討したところ、光透過性と強磁性を併せ持つ薄膜材料が得られた。透光性の磁性体であることから、そのファラデー効果を詳細に評価した結果、FeCo-(Al,Y)F 膜において、ガーネット(YIG)などの従来材料に比べて大きなファラデー効果を有することを見出した。特に、FeCo-YF 膜においては、光通信に用いられる波長(1550 nm)において、現在最も多く使われている磁気光学材料である Bi-YIG の約 40 倍もの巨大なファラデー回転角が得られた。図 1 には、Fe<sub>21</sub>Co<sub>14</sub>Y<sub>24</sub>F<sub>41</sub>、Fe<sub>25</sub>Y<sub>23</sub>F<sub>52</sub> および Fe<sub>13</sub>Co<sub>10</sub>Al<sub>22</sub>F<sub>55</sub> ナノグラニューラ膜のファラデー回転角の波長依存性を示す。図中には、比較のために Bi-YIG のデータも併せて示した。これらの膜のファラデー回転角の値は、いずれも Bi-YIG に比して非常に大きく、特に Fe<sub>21</sub>Co<sub>14</sub>Y<sub>24</sub>F<sub>41</sub> 膜の光通信帯域の波長(1550 nm)でのファラデー回転角は、Bi-YIG の約 40 倍もの大きな値を示す。グラニュールを構成する Fe,Co の磁気モーメントを第一原理計算によって検討したところ、マトリックスとの界面付近の磁性元素の軌道磁気モーメントが増大していることが分かった。一般的にナノグラニューラのような複相構造体では、その磁気光学効果は Maxwell-Garnett モデルで説明できることから、軌道磁気モーメントの増大と Maxwell-Garnett モデルの両方を取り入れることにより、その波長依存性を定性的に説明できることが分かった。本成果は、Scientific Reports 誌に掲載され[小林ら、Scientific Reports,8 (2018) 4978,DOI:10.1038/s41598-018-23128-5]、同誌の 2018 年物理系論文における閲覧数が 100 位以内となり、世界的な評価と注目を受けた(図 2)。

ナノグラニューラ膜の実用特性に着目し、光透過性能に優れかつ大きなファラデー効果を示す、すなわち性能指数の向上を検討した。検討した種々の組成系の中から、光透過特性に優れた FeCo-BaF 系膜に着目し、成膜時の基板温度とその後の熱処理の条件を調整することによって、さらなる性能指数の向上を目指した。その結果、300 以上に加熱した基板の上に、基板温度より高い熱処理を実施することにより、ファラデー回転角と光透過率の両方が向上することを明らかにした。これは、ナノグラニューラ膜の実用化に大きな道を開く成果である。

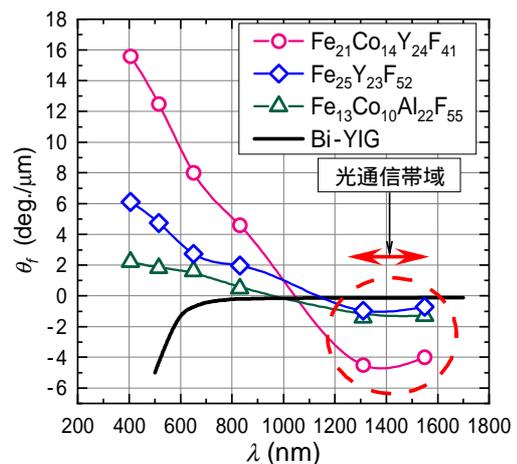


図 1 Fe<sub>21</sub>Co<sub>14</sub>Y<sub>24</sub>F<sub>41</sub>、Fe<sub>25</sub>Y<sub>23</sub>F<sub>52</sub>、Fe<sub>13</sub>Co<sub>10</sub>Al<sub>22</sub>F<sub>55</sub> ナノグラニューラ膜および Bi-YIG のファラデー回転角の波長依存性



図 2 Nature Publishing Group による表彰

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto	4. 巻 59
2. 論文標題 Tunnel-Type Magneto-Dielectric Effect and It's Annealing Study in CoSiO <sub>2</sub> Granular Films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 585 ~ 589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto	4. 巻 113
2. 論文標題 Tailored tunneling magneto-dielectric effects in Co-MgF <sub>2</sub> granular nanostructures by in-situ insertion of thin MgF <sub>2</sub> layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 22906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040779	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 小林伸聖、池田賢司、Bo Gu, 高橋三郎、増本博、前川禎通	4. 巻 MAG-18-077
2. 論文標題 FeCo-(aI-, Y-F)系ナノグラニューラ膜の巨大ファラデー効果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス・リニアドライブ合同研究会資料	6. 最初と最後の頁 79 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 小林伸聖	4. 巻 87
2. 論文標題 ナノグラニューラ透明強磁性材料の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 21 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kobayashi N., Ikeda K., Gu Bo, Takahashi S., Masumoto H., Maekawa S.	4. 巻 8
2. 論文標題 Giant Faraday Rotation in Metal-Fluoride Nanogranular Films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-23128-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Cao Y., Kobayashi N., Zhang Y. W., Ohnuma S., Masumoto H.	4. 巻 110
2. 論文標題 Enhancement of low-field magneto-dielectric response in two-dimensional Co/AlF granular films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072902 ~ 072902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4976743	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 Cao Y., Zhang Y., Ohnuma S., Kobayashi N., Masumoto H.	4. 巻 56
2. 論文標題 Control of the static and high-frequency magnetic properties of perpendicular anisotropic Co-HfN granular films through insertion of HfN interlayers.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 40307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.040307	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 Cao Y., Zhang Y. W., Ohnuma S., Kobayashi N., Masumoto H.	4. 巻 7
2. 論文標題 Magnetic properties and thermal stability of Co/HfN multilayer films for high-frequency application	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 065202 ~ 065202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4983402	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 Ogata Y., Chudo H., Gua B., Kobayashi N., Ono M., Harii K., Matsuo M., Saitoh H., Maekawa S.	4. 巻 442
2. 論文標題 Enhanced orbital magnetic moment in FeCo nanogranules observed by Barnett effect	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 329 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2017.06.101	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 Ikeda K., Kobayashi N., Arai K. I., Yabukami S.	4. 巻 446
2. 論文標題 Magnetoelectric effect in nanogranular FeCo-MgF films at GHz frequencies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 80 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2017.08.088.	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 Cao Y., Umetsu A., Kobayashi N., Ohnuma S., Masumoto H.	4. 巻 111
2. 論文標題 Tunable frequency response of tunnel-type magneto-dielectric effect in Co <sub>2</sub> MgF <sub>2</sub> granular films with different content of Co	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 122901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4985335	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15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本 博
2. 発表標題 Large Enhanced Tunneling Magneto-Dielectric Response in Co-MgF <sub>2</sub> Films by Addition of Si
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王誠, 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博
2. 発表標題 多元分離式スパッタリング法により作製したCo-Dy-Fナノ複相薄膜の構造とトンネル磁気誘電特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cao Yang, Kobayashi Nobukiyo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hirosh
2. 発表標題 Enhancement effect of minor addition of Si on magneto-dielectric properties in CoFe-MgF <sub>2</sub> nano-granular films
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林伸聖, 池田賢司, 顧波, 高橋三郎, 増本博, 前川禎通
2. 発表標題 金属-フッ化物系ナノグラニューラ-膜の巨大ファラデー効果
3. 学会等名 磁気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大場裕行, 小林伸聖, 池田賢司, 荒井賢一
2. 発表標題 FeCo-MgF <sub>2</sub> ナノグラニューラ-薄膜を用いた光磁界センサ
3. 学会等名 磁気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 曹洋, 青木英恵, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本 博
2. 発表標題 Tunable frequency response of tunneling-magneto-dielectric effect in Co-MgF <sub>2</sub> /MgF <sub>2</sub> granular film
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林伸聖, 池田賢司, 顧波, 増本博, 高橋三郎, 前川禎通
2. 発表標題 FeCo-AlF <sub>3</sub> ナノグラニューラー透明強磁性薄膜
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kijima-Aoki, Y. Cao, Y. Endo, N. Kobayashi, S. Ohnuma, H. Masumoto
2. 発表標題 Tunneling Magneto-Dielectric Effects of Crystallized Co-BaF <sub>2</sub> Nano-granular Films at MHz Frequencies,
3. 学会等名 joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王誠, 曹洋, 張亦文, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 マグネトロンスパッタ法により作製したCo-SrF <sub>2</sub> ナノ複相薄膜の構造とトンネル磁気誘電特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Giant Enhancement of Tunnel-type Magneto-Dielectric Effect in Co <sub>2</sub> Fe-MgF <sub>2</sub> Granular Films
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王誠, 曹洋, 張亦文, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 多元分離式スパッタリング法により作製したCo-Sr-Fナノ複相薄膜のトンネル磁気誘電特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林伸聖, 池田賢司, 増本博, 高橋三郎, 前川禎通
2. 発表標題 金属-フッ化物ナノグラニューラー膜のTMD効果に基づく磁気光学効果
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林伸聖, 池田賢司, 増本博, 高橋三郎, 前川禎通
2. 発表標題 光透過性を有する磁性金属-フッ化物ナノグラニューラー膜の磁気光学効果
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田賢司, 小林伸聖, 藪上信, 荒井賢一
2. 発表標題 FeCo-MgFナノグラニューラ-薄膜における高周波TMD効果
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王誠, 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博
2. 発表標題 多元分離式スパッタリング法により作製したCo-Dy-Fナノ複相薄膜の構造とトンネル磁気誘電特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 小林伸聖	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版刊	5. 総ページ数 9
3. 書名 自動運転車・ミラーレス車用カメラ・センサの技術と市場	

1. 著者名 小林伸聖, 蟹江三次	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 9
3. 書名 磁性材料・部品の最新開発事例と応用技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

公益財団法人 電磁材料研究所 新機能材料創生部門  
<http://www.denjiken.or.jp/research/research-dcnm.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	藪上 信  (Yabukami Shin)  (00302232)	東北大学・医工学研究科・教授   (11301)	
研究分担者	池田 賢司  (Ikeda Kenji)  (40769569)	公益財団法人電磁材料研究所・その他部局・研究員(移行)   (71301)	
研究分担者	増本 博  (Masumoto Hiroshi)  (50209459)	東北大学・学際科学フロンティア研究所・教授   (11301)	