

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03385

研究課題名(和文)磁性金属-強誘電体ナノ複相構造薄膜の作製による新複機能物性材料の開発

研究課題名(英文) Development of new multifunctional materials by magnetic metal-ferroelectric nano-composite thin films

研究代表者

増本 博 (MASUMOTO, HIROSHI)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・教授

研究者番号：50209459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：磁性ナノ金属粒子とセラミックスマトリックスとで構成されるナノ複相構造薄膜は、ナノ量子効果に基づく新奇特性が次々と生まれている。本研究では、磁場変化により誘電率を制御できる「トンネル磁気誘電効果」の特性向上を、材料の組み合わせ、成膜方法の改良、膜微細組織の構造制御により実現した。さらに、光通信に用いられる波長(1550nm)の光に対して、実用材料であるビスマス鉄ガーネットの約40倍もの巨大なファラデー効果を示す、全く新しい発想による磁気光学材料「トンネルファラデー効果」をFeCo-Y-F系ナノ複相構造薄膜によって見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい産業の創出には、新しい特性を有する材料の創製が重要なカギを握っている。本研究では、本グループで発見した「トンネル磁気誘電効果」および「トンネル磁気光学効果」の更なる特性向上に成功した。近未来において、全く新しいコンセプトに基づく磁気・光・誘電電子デバイスなどが創出される原動力になると予想される。特に本研究期間中に発見した「トンネルファラデー効果」は、現在使用されているYAG系材料が発見されて以来、45年ぶりにファラデー効果の特性を大幅に向上させた材料であり、今後の光デバイスの高機能化・小型化に貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Novel properties based on the nano-quantum effect have been created one after another by means of thin nano-double-phase structural films composed of magnetic nano-metallic particles and a ceramic matrix. In this study, the improvement of the "tunneling dielectric effect", in which the dielectric constant can be controlled by changing the magnetic field, has been achieved by combining materials, improving the deposition method, and controlling the microstructure of the film. Furthermore, we found a novel magneto-optic material, "Tunneling Faraday effect", which is about 40 times larger than that of "bismuth iron garnet", which is a practical material for optical communications at a wavelength of 1,550 nm, using a FeCo-Y-F-based nano-granular structure thin film.

研究分野：ナノ複合機能材料学

キーワード：トンネル磁気誘電効果 トンネル磁気光学効果 トンネルファラデー効果 ナノ複相構造薄膜 複機能物性

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。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、IoT 社会の急速な発展とそれに伴う技術の多様化のニーズに対応すべく、新しい多機能デバイスの開発が強く求められている。そのために従来に無かった新機能性や1つの材料で複数の機能を有する多機能性材料の開発が必須である。全く性質の異なる2つの物質である「金属」と「セラミックス」をナノレベルで複合化した「ナノ複相構造薄膜材料」は、これまで代表的な例として、GHz 帯域での優れた高周波軟磁気特性やトンネル型磁気抵抗効果(TMR)など、高機能や新しい複合機能性などを発現することが知られている。本申請グループでは、2014年および2016年に「トンネル磁気誘電(TMD)効果」および「トンネル磁気光学(TMO)効果」を発見した。これは本申請グループの独創的発想から生まれた新現象であり、他の研究グループによる研究は皆無である[2016年10月現在]。ナノ複相構造薄膜は、ナノ量子効果に基づく新奇特性が次々と生まれている。TMD・TMO効果の更なる特性向上は、近未来において、全く新しいコンセプトに基づく磁気・光・誘電電子デバイスなどが創出されると予想される。本申請では、TMD・TMO効果の向上を目指すとともに、結晶質誘電体と磁性金属との融合化による新しいナノ複相構造材料の開発により、これまでに無い複合機能性を見だし、電子デバイス等のさらなる発展に貢献することを目指す。

### 2. 研究の目的

ナノ複相薄膜の特異な特性の発現は、主に誘電体の母相を介した磁性金属ナノ粒子間のナノ量子効果により発現したものと考えられる。本申請の研究では、母相の誘電体の抵抗率や誘電率をより高くすることによって、さらなる新規な高機能化をめざす。具体的には、新たに考案した「パルス加熱型ナノ複相成膜法」および「差動排気型ナノ複相成膜法」の2つの成膜法を用いて、磁性金属-誘電体のナノ複相構造薄膜を作製し、その磁気・誘電・光の複機能物性を調べ、その発現メカニズムを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

下記の(1)から(5)の手順に沿って、既存のタンデム型多元スパッタ法および、新しく開発した多元スパッタ法である「差動圧力ナノ複相成膜法」を用い、磁性金属-結晶質誘電体のナノ複相構造薄膜を作製し、その磁気・誘電・光の複機能物性を検討すると共に、その発現メカニズムを明らかにした。(1) ナノ複相構造を形成する磁性金属-結晶質(強)誘電体の最適な組合せの探査。(2) 「差動圧力ナノ複相成膜法」の改良と磁性金属-結晶質(強)誘電体のナノ複相構造薄膜の作製。(3) ナノ複相構造薄膜の基礎物性と機能物性の評価。(4) 複機能物性(TMD・TMO特性)の高機能化および新しい複機能発現の探査と原理解明。(5) 研究の纏めと総括

### 4. 研究成果

本申請者らが発見した、新しい原理に基づくトンネル型磁気誘電(TMD)効果およびトンネル型磁気光学(TMO)効果の研究をさらに発展させることが出来たとともに、新しい機能発現(従来の40倍もの巨大ファラデー効果を示す薄膜材料の開発)にも成功した。以下に主要な6件の成果を述べる。

(1) 『Co-SrF<sub>2</sub>系弗化物-磁性金属結晶質ナノ複相構造薄膜によるトンネル磁気誘電(TMD)効果』マトリックスにMgF<sub>2</sub>(-1124 kJ/mol)と同じく a 族元素のフッ化物であり生成熱が大きくナノ複相構造の生成が期待できるSrF<sub>2</sub>(-1218kJ/mol)を用いて、Co-Sr-F ナノ複相薄膜を作製した。共スパッタ装置を改良し、金属グラニューラー粒子とマトリックスとの界面を制御したこと、グラニューラーの合金組成の検討を行うことにより、TMD 効果の最大値、6.2%を得ることに成功した。上記の結果が認められ、日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム優秀賞、および日本金属学会秋期講演大会優秀ポスター賞、および日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会優勝発表賞を受賞した。

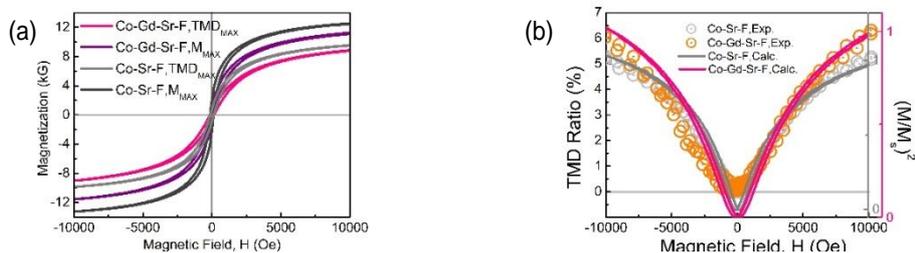


図 1 (a) Co-Gd-Sr-F および Co-Sr-F 薄膜の磁化曲線 (b) Co-Gd-Sr-F と Co-Sr-F の TMD 応答の外部磁場依存性

(2) 『45年ぶり - 新複機能物性「トンネル巨大ファラデー効果」の発見』

全く新しい発想による磁気光学材料の開発に世界で初めて成功した。粒径が数ナノメートルの鉄-コバルト合金微粒子(グラニューラー)が、フッ化アルミニウムやフッ化イットリウムなどのフッ化物誘電体から成る媒質(マトリックス)中に分散した磁性体-誘電体ナノ複相構造薄膜

において新しく開発した材料は、光通信に用いられる波長(1550nm)の光に対して、実用材料であるビスマス鉄ガーネットの約 40 倍もの巨大なファラデー効果を示した( 電磁材料研究所、東北大金研および日本原子力研究開発機構との共同研究)

磁気光学効果の一つであるファラデー効果を示す材料は、光アイソレーターに代表されるように、光デバイスや、とりわけ光通信システムに広く用いられ、先端情報技術には欠かすことができないが、1972 年にビスマス鉄ガーネット(Bi-YIG)が発見されて以来、Bi-YIG を超えるファラデー効果を有する物質は見つかっていなかった。さらに、光学デバイスの小型化および集積化のため、材料の薄膜化が必須であり、Bi-YIG の薄膜化の検討がなされてきたが、それらの特性はバルク Bi-YIG に大きく劣っている。この新しい材料は、45 年ぶりに見出され、従来材料よりもはるかに大きなファラデー効果を示す磁性薄膜材料であり、この材料を用いることで光デバイスの大幅な高性能化、さらに小型化・集積化が可能となる。

この成果は、「Scientific Reports (2018 年 3 月 21 日付)」に掲載された。さらに、本論文は Nature Science Repots 2018 年物理分野の Top100 論文に選出された。

(3) 『新複機能物性「トンネル巨大ファラデー効果」の理論解明』

FeCo-Y-F 結晶質ナノ複相構造薄膜において発見した巨大ファラデー効果のメカニズムの詳細を解明した。巨大なファラデー効果を示す発現メカニズムを明らかにするために、密度汎関数法による第 1 原理計算によって Fe 磁性粒子とフッ化物マトリックス界面の電子状態を計算した。さらに、Maxwell-Garnett 理論によってファラデー回転角を計算し相関を調べた。その結果、ナノグラニューラー構造における磁性粒子とマトリックスの界面での磁性原子の軌道磁気モーメントの増大によって、大きなファラデー効果が生じたことを明らかにした。

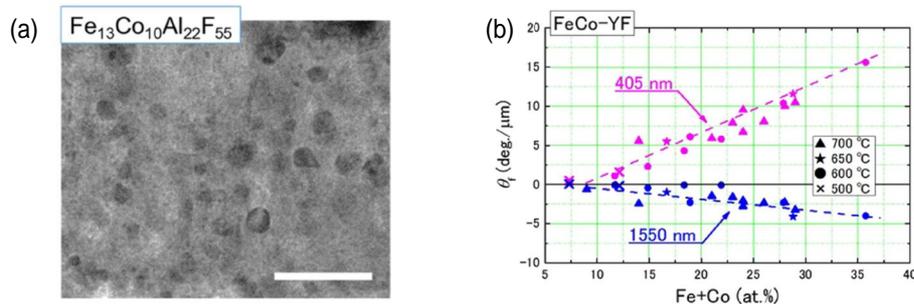


図 2 (a) FeCo-Al-F 膜のナノグラニューラー構造 (b) 巨大ファラデー効果。波長 405nm と 1550nm における FeCo-Al-F 膜のファラデー回転角の Fe+Co 濃度依存性

(4) 『MgF<sub>2</sub> 中間層を挿入した Co- MgF<sub>2</sub> 系ナノ複相積層膜による TMD 効果のワイドバンド化』

これまで最も高い TMD 効果が発現する周波数はナノ磁性粒子の含有量に依存していたが、ナノグラニューラー構造と積層構造をハイブリッド化した薄膜を作製することにより、ナノ磁性粒子の含有量を変えずに任意の周波数帯に高い TMD 効果を発現させることに成功した。具体的には、組成が Co-(MgF<sub>2</sub>) のナノグラニューラー薄膜の間に、中間層として Co ナノグラニューラーを含まない MgF<sub>2</sub> 中間層を挿入した。MgF<sub>2</sub> 中間層の厚みの変化 (1 ~ 4nm) により、同じナノ磁性粒子の含有量にもかかわらず TMD 周波数を 3kHz から 300kHz に任意に制御可能であることを見だし、TMD 効果の応用に大きな自由度を付与することができた。さらに Co 磁性金属に Fe を添加した FeCo 磁性合金を用いることにより、磁化の強さと TMD 効果との関係を明らかにした。上記の結果により、第 31 回日本セラミックス協会秋期シンポジウム「優秀賞」および日本セラミックス協会基礎科学討論会若手国際会議優秀発表賞を受賞した。

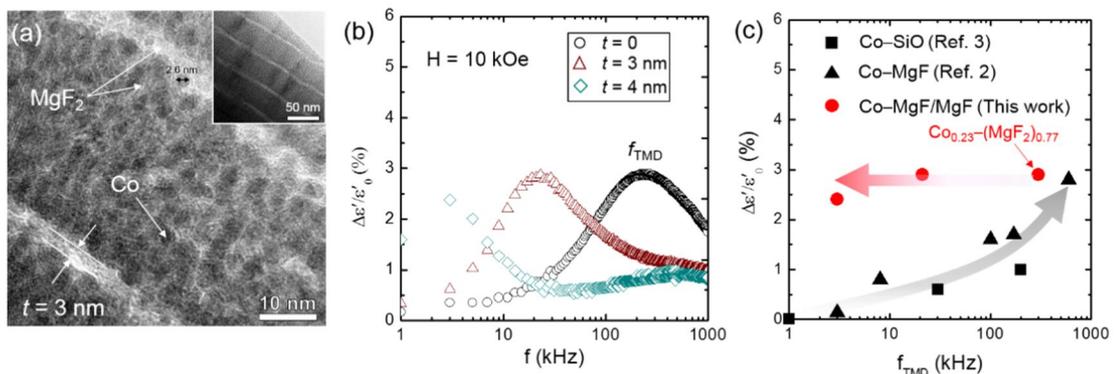


図 3 (a) Co-MgF/MgF 膜の t = 3 nm における断面 TEM 像 (b) Co-MgF/MgF 膜の層間膜厚が 0 ~ 4 nm の場合の TMD 効果の周波数依存性 (c) / 0 と f<sub>TMD</sub> との比較

(5) 『トンネル磁気抵抗(TMR)効果とTMD効果が共存する新しいナノ複合積層膜の作製に成功』  
 磁場により抵抗が変化するトンネル磁気抵抗(TMR)効果は、垂直磁気記録媒体やセンサー材料などに幅広く応用されている。Co 磁性金属 - フッ化バリウム系結晶質ナノ複相構造薄膜において、TMR効果とTMD効果が同時に発現する現象を初めて見だし、磁性ナノ粒子の組成によりその特性を制御出来ることを明らかにした。1つの物質でDC,ACどちらの電気特性も磁場により制御するセンサー応用に期待できる。

(6) 『酸化物・複酸化物-磁性金属ナノ複相構造薄膜によるトンネル磁気誘電(TMD)効果』  
 母相として酸化物または複酸化物を用いたCo - アルミナ系、およびCo - チタン酸ストロンチウム系ナノ複相構造薄膜において、初めてTMD効果を見いだした。これまで酸化物を母相としたナノ複相構造薄膜では、磁性金属の酸化により磁性が消失し、TMD効果を発現させることが困難であった。本研究では、磁性金属カソードと酸化物セラミックスカソードの環境を独立に制御出来る差動排気多元スパッタを新たに考案し、問題を克服した。その結果、特にアルミナ系では10%を超えるTMD効果の発現に成功した。上記の結果が認められ、国際会議PRICM10(中国西安)優秀発表賞、国際会議PACRIM(沖縄)学生発表金賞・若手研究発表金賞、日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会優秀発表賞を受賞した。

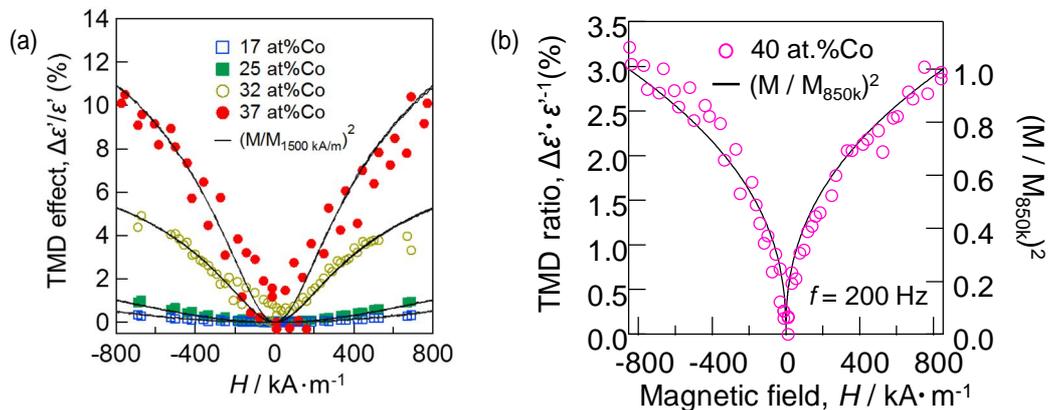


図 4 (a) Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜および (b) Co-SrTiO<sub>3</sub> 膜の TMD 効果の磁場依存性

## 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 6件）

1. 著者名 Cao Yang, Kobayashi Nobukiyo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	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 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022906 ~ 022906
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kijima-Aoki Hanae, Takeda Shigeru, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Frequency Soft Magnetic Properties of Co-SiO <sub>2</sub> Nanogranular Films With Large Out-of-Plane Magnetic Anisotropy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Magnetism Letters	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMAG.2018.2849713	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 Yang, Kobayashi Nobukiyo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Tunnel-Type Magneto-Dielectric Effect and Its Annealing Study in Co-SiO <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) 10.2320/matertrans.MBW201712	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 青木(木島)英恵、遠藤 恭、増本 博、大沼繁弘	4. 巻 -
2. 論文標題 多層化したナノグラニューラ膜の外部磁界に対する高周波電磁応答性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 マグネティックス研究会Proceedings	6. 最初と最後の頁 75 ~ 78
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、池田賢司、BoGu、高橋三郎、増本博、前川禎通	4. 巻 -
2. 論文標題 FeCo-(Al,Y-F)系ナノグラニューラー膜の巨大ファラデー効果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 マグネティックス研究会Proceedings	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 N. Kobayashi, K. Ikeda, B. Gu, S. Takahashi, H. Masumoto, S. Maekawa	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 Y. Cao, A. Umetsu, N. Kobayashi, S. Ohnuma, H. Masumoto	4. 巻 111
2. 論文標題 Tunable frequency response of tunnel-type magneto-dielectric effect in Co-2-MgF2 granular films with different content of Co	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Cao, N. Kobayashi, Y. Zhang, S. Ohnuma, H. Masumoto	4. 巻 122
2. 論文標題 Enhanced spin-dependent charge transport of Co-(Al-fluoride) granular nanocomposite by co-separate sputtering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 133903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5005620	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 Takeda S., Kijima-Aoki H., Masumoto H., Suzuki H.	4. 巻 43
2. 論文標題 Permeability Measurement up to 30 GHz of a Magnetically Isotropic Thin Film Using a Short-Circuited Coaxial Line	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 91 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3379/msjmag.1909R001">https://doi.org/10.3379/msjmag.1909R001</a>	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 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Large enhancement of magneto-dielectric effect in CoMgF2 nano composites by minor addition of Si
3. 学会等名 Intermag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Preparation of metal-ceramics nano-granular films for multi-functional properties
3. 学会等名 International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (CMCEE 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hanae Kijima-Aoki and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Low-loss nanogranular Co based soft magnetic films for 10 GHz applications
3. 学会等名 International Union of Materials Research Societies - International Conference on Electronic Materials 2018 (招待講演) (国際学会)
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 CoMg <sub>2</sub> /MgF <sub>2</sub> granular films
3. 学会等名 第31回日本セラミックス協会秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木英恵、武田茂、大沼繁弘、増本博
2. 発表標題 大きな垂直磁気異方性を有するCo-SiO <sub>2</sub> ナノグラニューラー膜の 10GHz帯高周波軟磁気特性
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
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 Dielectric and Tunneling Magneto-Dielectric Responses in Composition-graded Granular Films of Co-MgF <sub>2</sub>
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木英恵、武田茂、大沼繁弘、増本博
2. 発表標題 Co-BaF <sub>2</sub> ナノグラニューラ膜の磁気-誘電効果
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期大会
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 Ceramic-metal granular-type functional gradient materials (g-FGM) with giant dielectric response
3. 学会等名 平成30年度日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会
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 Effect of Fe on tunneling magneto-dielectric response in CoFe-MgF granular nanocomposites
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kijima-Aoki, Y. Cao, Y. Endo, N. Kobayashi, S. Ohnuma and H. Masumoto
2. 発表標題 Tunneling Magneto-Dielectric Effects of Crystalized Co-BaF <sub>2</sub> Nano-granular Films at MHz Frequencies
3. 学会等名 Intermag 2019 (国際学会)
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 (Co <sub>x</sub> Fe <sub>100-x</sub> )-(MgF <sub>2</sub> ) films with large improved Tunneling Magneto-Dielectric Responses
3. 学会等名 日本金属学会2019年春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 方 冰川、青木 英恵、宮崎 孝道、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 アモルファスFe-B 微粒子の静的・動的磁気特性に関する研究
3. 学会等名 日本金属学会2019年春期大会
4. 発表年 2019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 Improved tunnel magneto-dielectric properties of (Co-Fe)-(Mg-F) granular films by optimizing the composition of Co-Fe alloys
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木(木島)英恵、遠藤 恭、増本 博、大沼繁弘
2. 発表標題 多層化したナノグラニューラ膜の外部磁界に対する高周波電磁応答性
3. 学会等名 マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林伸聖、池田賢司、BoGu、高橋三郎、増本博、前川禎通
2. 発表標題 FeCo-(Al,Y-F)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 マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 曹 洋、小林 伸聖、大沼 繁弘、増本 博
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2017年秋期大会
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2017年秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王 誠、曹 洋、張 亦文、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-Sr-F ナノ複層薄膜のトンネル磁気誘電特性
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期大会
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 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第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Masumoto, Mayumi Shiraishi, Yusuke Orii, Naru Shiraishi, Takahisa Anada, Osamu Suzuki and Keiichi Sasaki
2. 発表標題 Nano-structured surface modification on Ti-6Al-4V alloy by electron cyclotron resonance plasma oxidation
3. 学会等名 29th Symposium and Annual Meeting of ISCM (Bioceramics 29) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yang Cao・Nobukiyo Kobayashi・Shigehiro Ohnuma・Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Dielectric and magneto-dielectric responses in (Co-Fe-Si)-(Mg-F) nanocomposite films
3. 学会等名 平成29年度 日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Cheng WANG・Yang CAO・Yiwen ZHANG・Shigehiro OHNUMA・Nobukiyo KOBAYASHI・Hiroshi MASUMOTO
2. 発表標題 Tunneling magneto-dielectric property of Co-Sr-F nano-composite thin films deposited by co-sputtering
3. 学会等名 平成29年度 日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会
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 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Cheng Wang, Yang Cao, Yiwen Zhang, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Tunneling Magneto-Dielectric Response Enhancement of Co-Sr-F Nano-Composite Thin Films by Gd Doping
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cao Yang・Kobayashi Nobukiyo・Ohnuma Shigehiro・Masumoto Hiroshi
2. 発表標題 Enhancement effect of minor addition of Si on magneto-dielectric properties in Co <sub>2</sub> FeMgF <sub>2</sub> nano-granular films
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
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2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kijima-Aoki, Y. Cao, Y. Endo, N. Kobayashi, S. Ohnuma and 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 Intermag 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi MASUMOTO, Nobukiyo Kobayashi
2. 発表標題 Metal-Ceramics Nano-Composite Films for Multi-Functional Properties
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cao Yang, Masumoto Hiroshi
2. 発表標題 Tunneling Magneto-Dielectric (TMD) effect: Recent advances and future perspectives
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Moe Kimura, Yang Cao, Hanae Aoki, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Structure, Magnetic and Dielectric Properties of Co-SrTiO <sub>3</sub> Nano-composite Films
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cao Yang, Masumoto Hiroshi
2. 発表標題 Emerging Tunneling Magneto-Dielectric (TMD) Effect and Recent Progress
3. 学会等名 The 11th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Structure and Magneto-dielectric Properties in Co-F-C Nanocomposites
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Moe Kimura, Yang Cao, Hanae Aoki, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Improvement of magneto-dielectric properties of Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nano-composite films by optimization for preparation conditions
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang Cao, Hanae-Kijima Aoki, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Effect of Fe on tunneling magneto-dielectric response in CoFe-MgF granular nanocomposites
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2019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 (Co <sub>x</sub> Fe <sub>100-x</sub> )-(MgF <sub>2</sub> ) films with large improved Tunneling Magneto-Dielectric Responses
3. 学会等名 日本金属学会2019年春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang Cao, Hanae-Kijima Aoki, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Improved tunnel magneto-dielectric properties of (Co-Fe)-(Mg-F) granular films by optimizing the composition of Co-Fe alloys
3. 学会等名 The Ceramic Society of Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増本 博
2. 発表標題 エネルギーを変換する新材料の開発
3. 学会等名 材料技術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 萌、曹 洋、青木英恵、小林伸聖、大沼繁弘、増本博
2. 発表標題 差動圧カスパッタ法により作製したCo-SrTiO <sub>3</sub> 系ナノ複相薄膜におけるトンネル磁気 - 誘電効果の発現
3. 学会等名 令和元年度日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019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	小林 伸聖 (KOBAYASHI Nobukiyo)  (70205475)	公益財団法人電磁材料研究所・新機能材料創生部門・主席研究員  (71301)	
研究分担者	青木 英恵 (AOKI Hanae)  (60733920)	東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教  (11301)	
研究分担者	曹 洋 (CAO Yang)  (50804598)	東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教  (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・新機能材料創生部門・主任研究員  (71301)	