

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02447

研究課題名（和文）トンネル磁気誘電効果を有するナノ複相構造薄膜の新機能生体センサーの展開

研究課題名（英文）Deployment of nanocomposite thin films with tunnel magneto-dielectric effect as novel functional biosensors

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） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本申請者らが見出した、磁場変化により誘電率を制御できる「トンネル磁気誘電（TMD）効果」は、セラミックスマトリックス中に磁性ナノ金属粒子を分散させたナノ複相構造薄膜により発現できる。本研究では、ナノ複相構造薄膜を新しい生体センサーの応用研究という次の段階にステップアップするための基盤的研究を行うことを目的とし、生体安全性、生体活性を有することを明らかにした。さらに周辺技術として、マトリックスに有機物を使用した有機ナノ複相構造薄膜、広帯域で使用可能な組成傾斜ナノ複相構造薄膜、特性の指向性を高める非球体粒子分散ナノ複相構造薄膜の作製に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、本グループが発見した「トンネル磁気誘電効果」および「トンネル磁気光学効果」を発現するナノ複相構造薄膜の応用化を目指し、生体センサとし活用できる基盤的研究を行った。重要な要素である生体安全性、生体活性などが良好であることを確認できた。さらにナノ複相構造薄膜の周辺技術の開発や特性向上などの成果も上げることが出来たことから、今後ナノ複相構造薄膜を用いた、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作製技術を確立した、非球体粒子分散ナノ複相構造薄膜は、トンネル効果を利用した新しい特性を有する材料創製の起点になりうる。

研究成果の概要（英文）：The "tunnel magneto-dielectric (TMD) effect" that can control the dielectric constant by changing the magnetic field found by our group can be generated by nano-composite films in which magnetic-metal nano-particles are dispersed in a ceramic matrix. In this study, we aimed to conduct fundamental research to step up the nano-composite films to the next stage of applied research for new biosensors, and clarified that it has biosafety and bioactivity. In addition, as peripheral technologies, we have succeeded in fabricating organic nanocomposite thin films using organic matter as a matrix, compositionally graded nano-composite films that can be used in a wide band, and spherical particle-dispersed nano-composite films that enhance the directivity of properties.

研究分野：ナノ複合機能材料学

キーワード：ナノ複相構造薄膜 新複機能物性材料 トンネル磁気誘電効果 生体親和性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

次世代科学技術の発展の為に、既知の原理に基づく技術開発や、従来技術の高機能化だけでなく、従来には無かった新しい原理に基づく新技術を創出することが不可欠である。

本研究グループは、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」を作製することにより、新しい原理に基づく複機能物性を発見し報告してきた。すなわち、『FeCo-MgF<sub>2</sub>系ナノ複相構造薄膜によるトンネル型磁気誘電(TMD)効果の発見』は、外部磁場の印加により誘電率がトンネル電流に起因して室温で数%変化する新現象であり、また誘電率が数十倍巨大化することも見だし、Nature Communications [DOI:10.1038/ncomms5417] に掲載された。

上記のナノ複相構造薄膜の新奇な特性の理論的考察を行った結果、主に誘電体の母相を介した磁性金属ナノ粒子間で生ずるナノ量子効果である「スピン依存電荷分極」に基づく現象であると解明した。この現象は研究されているマルチフェロイック効果や非線形光学効果等の特性発現原理とは根本的に異っており、全く新しい応用分野への展開が期待できる。

### 2. 研究の目的

本研究グループが発見した新しい機能変換材料である『トンネル磁気誘電(TMD)効果』を有するナノ複相構造薄膜を用いて、従来に無い生体センサーの開発のための基盤的応用研究を行うことを目的とする。

本研究グループは、これまで主に材料学的側面から TMD 効果の研究を精力的に進めてきた。しかし、TMD 効果の基礎研究の段階からさらに発展させて、次の段階にステップアップするために、「材料工学」、「デバイス工学」、「医工学」などの異分野の融合的・学際的連携が必須である。

### 3. 研究の方法

研究は手順(1)から手順(4)に沿って行った。手順(1)「磁性ナノ粒子-セラミックス系複相薄膜の作製」では、既存のタンデム型多元スパッタ法および多元共スパッタ法を用い、磁性金属-絶縁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。手順(2)「優れた高周波・広帯域特性を有する TMD 効果の作製とデバイス素子化」では、ナノ複相構造薄膜における金属磁性粒子の含有量変化や傾斜機能構造化に取り組み、高周波化と広帯域化を実現した。手順(3)「生体用磁気誘電センサー開発の基盤研究」では、ナノ複相構造薄膜の歯科用生体材料への応用の実現へ向けて、生体安全性および生体活性の確認を行った。最後に本成果報告書にて手順(4)「研究の纏めと総括」を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) [磁性金属-有機化合物 (PTFE) 系ナノ複相薄膜の構造と磁気-誘電特性]

トンネル磁気誘電(TMD)効果は、磁性金属ナノ粒子を絶縁相中に分散させたナノ複相構造薄膜において外部磁場の印加により室温で誘電率が変化する特性を示し、新たな複機能特性として磁気センサ等への応用を検討されている。先行研究では、磁性金属-セラミックス系ナノ複相薄膜において TMD 効果の発現を確認したが、本研究では TMD 効果を応用可能な製品範囲を広げる為、新たに絶縁相として有機化合物の適用に挑戦した。そこで、Fe と 4 フッ化エチレン樹脂 (ポリテトラフルオロエチレン: PTFE) をターゲットとして Fe-F-C ナノ複相薄膜を作製し、最適な成膜方法・条件について検討することで TMD 効果の発現に成功した。図1から、作製した膜が TMD 効果を有し、その変化挙動は磁化の変化挙動と一致することを明らかにし、磁性金属の量により最適条件があることを見出した。上記の結果が認められ、令和2年度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。

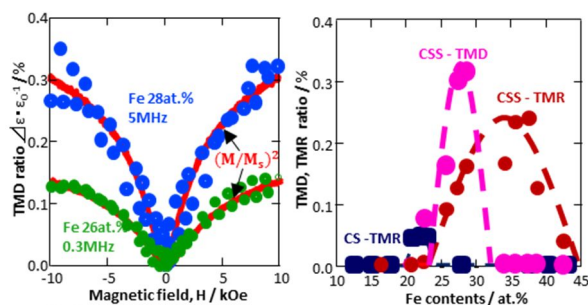


図1 Fe-F-Cナノ複相薄膜の(左) TMD比の磁場依存性、および (右) TMR, TMD比のFe組成依存性

( 2 ) [ 磁性金属-酸化物系ナノ複相薄膜の構造と磁気-誘電特性 ]

TMD 効果は、これまでマトリックスとしてフッ化物をベースとしていたが、生体材料として利用するためには、より安全性の高い酸化物セラミックスを用いることが有利である。TMR 特性を有する酸化物ベースのナノ複相構造薄膜はこれまでも報告例があるが、TMD 特性を有する薄膜の報告例は無かった。その原因は、Co の酸化により磁気特性が劣化するという問題点による。本研究ではその問題点を克服するために、本研究の成膜に 2 つのカソード間を仕切ることで雰囲気気を独立に制御することができる差動圧カスパッタ法を用いた。幅広い組成系での成膜にチャレンジし、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  などの酸化物マトリックスで TMD 特性を発現させることに成功した。一例として図 2 に示す Co- $\text{Al}_2\text{O}_3$  系ナノ複相薄膜では、成膜後に所定の条件で熱処理を施すことによって高い TMD 特性を発現できることに成功している。上記の結果が認められ、日本金属学会 2020 年秋期講演大会において「優秀ポスター賞」を、TU-TaipeiTech Joint Symposium 2021 において、「Excellence Presentation Award」を、MRS-J 主催の国際会議 MRM2021 において、「Poster Award 2021 Graduate Student Award」を受賞した。

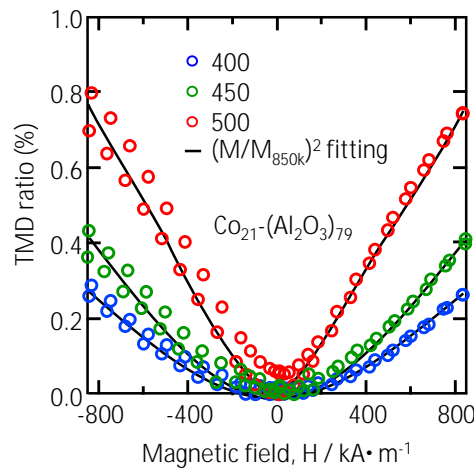


図2 Co- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜のTMD比の磁場依存性 (アニール温度の違いによる)

( 3 ) [ 非球体磁性金属-セラミックスマトリックスナノ複相薄膜の構造と磁気-誘電特性 ]

磁場の印加により誘電率が変化する TMD 効果の特長は、常温において特性が発現することである。ナノ複相構造薄膜は常に高い電気抵抗率を持っていることが要求される。従来のナノ複相薄膜では球状の磁性粒子が均一分散しているが、粒子形状を扁平化し、粒子を膜面内方向に配列できればさらなるトンネル磁気抵抗 (TMR) 特性や TMD 特性の向上が期待できる。本研究では、成膜条件の詳細な検討により Co 粒子が扁平化し、規則的に配列した Co- $\text{BaF}_2$  ナノ複相薄膜を得ること、および膜の TMR および TMD 効果と膜構造との相関を明らかにした。

図 3 から、基盤回転速度を変化させることにより、層状、扁平粒状、球状の順に変化することがわかる。図 4 (左) からは、TMR 比は磁場の増加と共に増加し、特に 5 kOe 以下の低磁場の印加では  $v = 4$  rpm の TMR は  $v = 5.5$  rpm のそれより大きな値を示した。磁性ナノ粒子が扁平化したことで膜面内の形状磁気異方性が大きくなった結果、弱磁場抑制が向上したと考えられる。図 4 (右) では、TMD 効果の最大値が、ナノ粒子を扁平形状化することにより得られることを示している。TEM 観察の結果、TMD 比はナノ粒子間距離  $t$  に依存することが明らかとなった。上記の結果が認められ、2022 International Magnetism Conference において、「Best Poster Award」を受賞した。

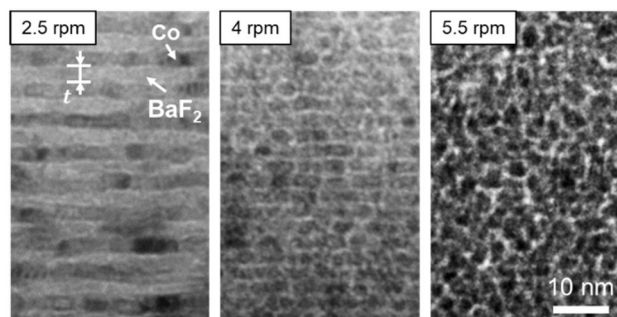


図 3 回転速度の異なる Co- $\text{BaF}_2$  膜の断面 TEM 像

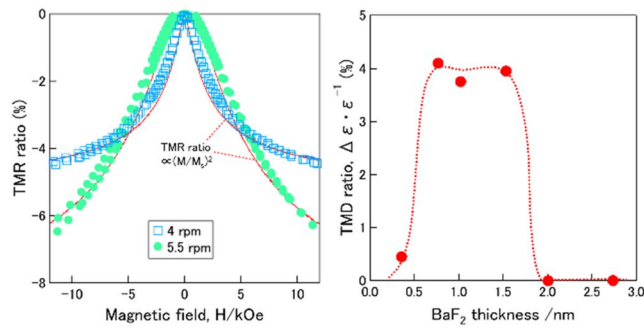


図4 (左) TMR効果の磁場依存性、および(右) TMD特性の粒子間距離依存性

(4) [磁性金属-酸化物系ナノ複相薄膜の構造と磁気-誘電特性]

本研究の目的は、トンネル磁気誘電 (TMD) 効果を有するナノ複相構造薄膜の生体材料への応用の実現へ向けて、生体安全性および生体活性の確認を行うため、TMD ナノ薄膜を形成したチタンの表面特性と骨芽細胞様細胞 (MC3T3-E1) およびヒト歯肉線維芽細胞 (HGF-1) の初期応答について検討した。本研究では、Co-MgF<sub>2</sub> からなる TMD 効果を有するナノ複相構造薄膜をチタン基板表面に作製し、試験試料とした。マウス由来骨芽前駆細胞 (MC3T3-E1) およびヒト歯肉線維芽細胞 (HGF-1) の細胞接着および増殖、接着細胞の骨格観察を通し、TMD ナノ薄膜の生物学的安全性および生体活性を検討した。一例として、図5に示す通り、Ti-MgF<sub>2</sub>-2 と Ti-MgF<sub>2</sub>-3 では、培養14日後のALP活性はチタンより有意に高い値を示した。これらの結果から、Ti-MgF<sub>2</sub>-2 および Ti-MgF<sub>2</sub>-3 は良好な生体活性を有することが示唆された。また、TMD 効果を有するナノ複相構造薄膜の生体材料への応用が可能であることが示唆された。以上、TMD 効果を有するナノ複相構造薄膜が良好な生体活性を有していることを骨芽前駆細胞および線維芽細胞を用い、*in vitro* の検討に基づき明らかにした。

本研究は、生体材料としての TMD 効果を有するナノ複相構造薄膜の将来性を示すことが出来た。

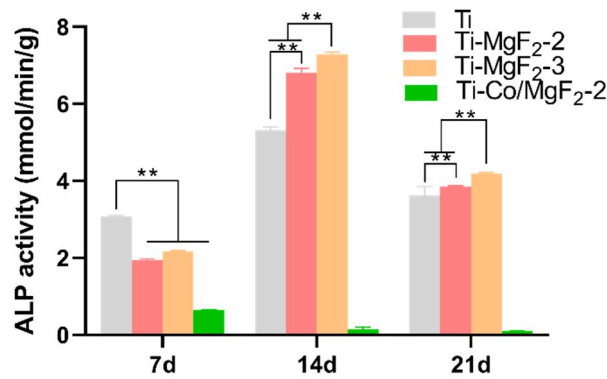


図5 培養7日目、14日目、21日目のMC3T3-E1のALP活性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Cheng Wang, Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, Hiroshi Masumoto	4. 巻 11
2. 論文標題 Structure and tunneling magneto-dielectric properties of Co-SrF <sub>2</sub> nano-granular thin films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 85224
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0058707	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 Yang Cao, Kenta Nogawa, Nobukiyo Kobayashi, Hiroshi Masumoto	4. 巻 14
2. 論文標題 Fabrication of transition metal (TM=Fe, Co) difluorides carbon nanocomposite films by magnetron co-sputtered deposition of Fe/Co and Teflon targets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 75502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac07f0	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 村田 啓太, 宮崎 孝道, 増本 博, 遠藤 恭	4. 巻 5
2. 論文標題 アモルファスFe-B軟磁性微粒子の静的・動的磁気特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本磁気学会論文誌	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） 10.20819/msj.tmsj.21TR310	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 Yasushi Endo, Bingchuan Fang, Takamichi Miyazaki, Hanae Aoki, Hiroshi Masumoto	4. 巻 141
2. 論文標題 Study on Structure and Magnetic Properties of Sub-micron Fe-B Particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 306-310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.141.306	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, Hiroshi Masumoto	4. 巻 120
2. 論文標題 Tunnel magnetodielectric effect: Theory and experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 82901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0077879	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, Hanaea Endo Yasushi, Miyazaki Takamichi, Nojima Tsutomu, Ikeda Kenji, Kobayashi Nobukiyo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Shape effect of Co nanoparticles on the electric and magnetic properties of Co-SiO <sub>2</sub> nanogranular films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 35229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000310	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, Cao Yang, Kobayashi Nobukiyo, Takahashi Saburo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	4. 巻 128
2. 論文標題 Large magnetodielectric effect based on spin-dependent charge transfer in metal-insulator type Co-(BaF <sub>2</sub> ) nanogranular films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 133904 ~ 133904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0021636	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 117
2. 論文標題 Large tunneling magneto-dielectric enhancement in Co(Fe)-MgF <sub>2</sub> granular films by minor addition of Si	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072904 ~ 072904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0014137	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 SHIRAIISHI Naru, MASUMOTO Hiroshi, TAKAHASHI Kenta, TENKUMO Taichi, ANADA Takahisa, SUZUKI Osamu, OGAWA Toru, SASAKI Keiichi	4. 巻 39
2. 論文標題 Histomorphometric assessments of peri-implant bone around Ti-Nb-Sn alloy implants with low Young's modulus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 148 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2018-376	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 OIKAWA Mayumi, MASUMOTO Hiroshi, SHIRAIISHI Naru, ORII Yusuke, ANADA Takahisa, SUZUKI Osamu, SASAKI Keiichi	4. 巻 40
2. 論文標題 Effect of surface modification of Ti-6Al-4V alloy by electron cyclotron resonance plasma oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 228 ~ 234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2020-051	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 118
2. 論文標題 Composition-graded multilayer nanogranular films enabling broadband tunneling magneto-dielectric effect: Role of the granular distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 032901 ~ 032901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0027233	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 Hanae Kijima-Aoki, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi, Hiroshi Masumoto	4. 巻 547
2. 論文標題 DC and AC tunneling magnetoelectric responses of cobalt lateral nanogranular films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 168890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.168890	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 Moe Kimura, Yang Cao, Hanae Kijima-Aoki, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, Hiroshi Masumoto	4. 巻 63・12
2. 論文標題 Tunneling Magnetodielectric Effect in Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Granular Films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1677-1681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.mt-m2022098	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, Cheng Wang, Saburo Takahashi, Sadamichi Maekawa, Hiroshi Masumoto	4. 巻 14
2. 論文標題 Novel Dielectric Nanogranular Materials with an Electrically Tunable Frequency Response	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2201218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202201218	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 該当する

〔学会発表〕 計45件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 青木英恵、打越雄央、曹 洋、川井哲郎、野島 勉、遠藤 恭、大沼繁弘、増本 博
2. 発表標題 粒子形状を制御したナノグラニューラー膜の巨大保磁力発現機構の検討
3. 学会等名 マグネティックス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hanae Aoki, Katsuhiro Uchikoshi, Takamichi Miyazaki, Masato Ohnuma, Yoshik Honda, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Structure of cobalt-(barium-fluoride) lateral nanogranular films under slow-motion tandem method
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Moe Kimura、Yang Cao、Hanae Aoki、Shigehiro Ohnuma、Nobukiyo、Kobayashi、Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Tunneling Magneto-Resistance Effect of Co-Oxide Nano-Composite Films
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yang Cao、Nobukiyo Kobayashi、Shigehiro Ohnuma、Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Tunneling magneto-dielectric response in nanogranular films: Theoretical and experimental studies
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Masumoto
2. 発表標題 New multi-functional properties by metalceramics nano-composite films
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村田啓太、増本 博、宮崎孝道、遠藤 恭
2. 発表標題 鎖状アモルファスFe-B微粒子における磁気特性
3. 学会等名 マグネティックス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozomi Yokohama、Hanae Aoki、Shigehiro Ohnuma、Nobukiyo Kobayashi、Hiroshi Matsumoto
2. 発表標題 Effect of heat treatment on structure and properties of Co-BaMgF4 nanocomposite films
3. 学会等名 JOINT SYMPOSIUM2021 TOHOKU UNIVERSITY & NATIONAL TAIPEI UNIVERSITY OF TECHNOLOG (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Masumoto
2. 発表標題 Novel magneto-dielectric properties of metal-ceramic nanogranular thin films
3. 学会等名 JOINT SYMPOSIUM2021 TOHOKU UNIVERSITY & NATIONAL TAIPEI UNIVERSITY OF TECHNOLOG (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 打越雄央、青木英恵、本田祥基、大沼正人、小林伸聖、大沼繁弘、増本博
2. 発表標題 扁平球状ナノ粒子が配列したCo-BaF2ナノコンポジット膜の磁気・誘電特性
3. 学会等名 令和3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 2021年

1. 発表者名 増本 博
2. 発表標題 スパッタ法により作製した磁性金属 - セラミックスナノグラニューラー薄膜の磁気誘電特性
3. 学会等名 2021年日本表面真空学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤 恭、方 冰川、宮崎、孝道、青木 英恵、増本
2. 発表標題 配列化したFe-B 軟磁性微粒子コンポジット材の磁気特性
3. 学会等名 第169回日本金属学会2021年秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 英恵、曹、洋、野島 勉、大沼 繁弘、小林 伸聖、増本 博
2. 発表標題 Co-SiO <sub>2</sub> ナノグラニューラ膜の低温磁気特性におよぼす粒子形状の効果
3. 学会等名 第169回日本金属学会2021年秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木英恵、打越雄央、大沼繁弘、小林伸聖、増本 博
2. 発表標題 ナノ粒子を扁平化したナノグラニューラ膜の粒子形状が及ぼす強磁性・超常磁性への影響
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 Tomoharu Uchiyama、 Yang Cao、 Hanae Aoki、 Kenji Ikeda、 Nobukiyo Kobayashi、 Shigehiro Ohnuma、 Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Effect of Annealing on the Structure and Magneto-electric Properties of Co-Si-nitride Nanogranular Films
3. 学会等名 第60 回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 C. Wang、Y. Endo、Y. Cao、H. Aoki Kijima、N. Kobayashi、S. Ohnuma、H. Masumoto
2. 発表標題 Relationship between morphology and soft-magnetic properties of Co-Sr-F nano-granular films.
3. 学会等名 The 14th Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2022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 The 14th Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Endo、K. Murata、H. Aoki Kijima、T. Miyazaki、H. Masumoto
2. 発表標題 Study on Structural Characteristics and Magnetic Properties of Fe-B Particles with Submicron Sizes Synthesized by A Liquid-phase Reduction Method.
3. 学会等名 The 14th Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田 啓太、宮崎 孝道、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 アモルファス Fe - B 鎖状微粒子の静的・動的磁気特性
3. 学会等名 第170回日本金属学会2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林 和志、村田 啓太、宮崎 孝道、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 Fe - B / S e n d u s t 複合軟磁性微粒子の磁気特性に関する評価
3. 学会等名 第170回日本金属学会2022年春期大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木 英恵、本田 祥基、大沼 正人、小林 伸聖、大沼 繁弘、増本 博
2. 発表標題 小角散乱法を用いたナノグラニューラ膜の構造とトンネル伝導の関係
3. 学会等名 第170回日本金属学会2022年春期大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木英恵, 曹 洋, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 トンネル効果に与えるCo-BaF <sub>2</sub> ナノグラニューラ層状膜のCo 粒子の形状と周期性の影響
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曹 洋, 野川 健太, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博
2. 発表標題 Structure and dielectric properties of (CoF/FeF)-C nanocomposites
3. 学会等名 第33回日本セラミックス協会秋期シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村 萌, 青木英恵, 曹 洋, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 Co-MgO 系ナノコンポジット薄膜の電気および磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田 祥基, 大沼 正人, 増本博, 大沼繁弘, 青木英恵, 木村 萌
2. 発表標題 金属-絶縁体ナノグラニューラー薄膜の微細構造と特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村田 啓太, 宮崎 孝道, 増本 博, 遠藤 恭
2. 発表標題 アモルファスFe-B サブミクロン微粒子における静的・動的磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野川 健太, 曹 洋, 青木英恵, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博
2. 発表標題 Fe-PTFE 系ナノ複相薄膜の構造と磁気-誘電特性
3. 学会等名 令和2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 2020年

1. 発表者名 王 誠, 青木英恵, 曹 洋, 大沼繁弘, 増本博
2. 発表標題 Doping influence on tunneling magneto-dielectric effect of Co-Sr-F nano-granular thin films
3. 学会等名 Materials Research Meeting Forum 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木英恵, 曹 洋, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 粒子の形状制御によるナノグラニューラ膜の磁気異方性制御
3. 学会等名 日本金属学会2021年春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 打越 雄央, 青木英恵, 曹 洋, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 磁性ナノ粒子を扁平化したCo-BaF <sub>2</sub> ナノグラニューラ膜の電気・磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2021年春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 萌, 曹 洋, 青木英恵, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博
2. 発表標題 Co-MgO 系ナノコンポジット薄膜の構造と磁気特性に及ぼすパッタ照射面積の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野川 健太, 曹 洋, 青木 英恵, 小林 伸聖, 大沼 繁弘, 増本 博
2. 発表標題 スパッタリング法による Fe-F-C ナノ複相薄膜の構造と磁気 - 誘電特性
3. 学会等名 第59回 セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村田啓太、宮崎孝道、青木英恵、増本博、遠藤恭
2. 発表標題 数珠状Fe - Bアモルファス微粒子の高周波磁気特性
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林和志、村田啓太、宮崎孝道、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 複合配向化した微粒子コンポジット材の磁気特性に関する研究
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山 智元、曹 洋、青木 英恵、池田 賢司、小林 伸聖、大沼 繁弘、増本 博
2. 発表標題 Co-(Si-N)ナノコンポジット薄膜におけるトンネル磁気誘電効果の発現
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会秋期シンポジウム
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 増本 博
2. 発表標題 磁性金属 - 絶縁体ナノコンポジット薄膜による新しい磁気-誘電効果材料
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会秋期シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曹洋、小林伸聖、大沼繁弘、増本 博
2. 発表標題 Electrical control of tunnel magnetodielectric response in nanogranular films
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期講演大会
4. 発表年 2022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 Enhancement of tunneling magneto-electric responses by Fe addition in Co-(Sr-F) nano-granular thin films
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林和志、村田啓太、宮崎孝道、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 複合軟磁性微粒子コンポジット材における磁気特性の磁界 配向処理効果
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 萌、曹 洋、青木 英恵、大沼 繁弘、小林 伸聖、増本 博
2. 発表標題 熱処理によるCo-Al2O3 系ナノグラニューラ-薄膜の弱磁場におけるトンネル磁気 - 誘電効果の向上
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横浜希、青木英恵、小林伸聖、大沼繁弘、増本博
2. 発表標題 共スバッタ法により作製したCo-BaMgF4薄膜の結晶構造と磁気および誘電特性
3. 学会等名 令和4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 2022年

1. 発表者名 Yu-Ting Chen, Moe Kimura, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi, Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Microwave heating on Co-Al2O3 thin films and their TMR properties
3. 学会等名 TU-TaipeiTech Joint Symposium 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoharu Uchiyama, Cao Yang, Hanae Aoki, Kenji Ikeda, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Effect of sputtering condition on tunnel magneto-dielectric response in Co-(Si-N) nanocomposite films
3. 学会等名 第61回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木 英恵、池田 賢司、小林 伸聖、増本 博、遠藤 恭
2. 発表標題 光周波数帯の誘電特性に及ぼす Co-BaF <sub>2</sub> ナノ複相膜の Co添加量の効果
3. 学会等名 第172回日本金属学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村 萌、池田 賢司、小林 伸聖、大沼 繁弘、増本 博
2. 発表標題 Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系ナノグラニューラ-薄膜におけるトンネル磁気 - 光学効果
3. 学会等名 第172回日本金属学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王 誠、小林 伸聖、大沼 繁弘、増本 博
2. 発表標題 CoPt-SrF <sub>2</sub> ナノグラニューラ-薄膜における GHz 付近の磁気・電気効果
3. 学会等名 日本セラミックス協会2023年年会
4. 発表年 2023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・その他部局等・研究員(移行)    (71301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	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	青木 英恵 (Aoki Hanae)  (60733920)	東北大学・工学研究科・講師  (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	佐々木 啓一 (Sasaki Keiichi)  (30178644)	東北大学・歯学研究科・教授  (11301)	
研究分担者	鈴木 治 (Suzuki Osamu)  (60374948)	東北大学・歯学研究科・教授  (11301)	

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