

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：71301  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K03843  
研究課題名（和文）零磁界動作するナノグラニューラー磁気光学薄膜の開発

研究課題名（英文）Development of nanogranular magneto-optical films functional functional at zero magnetic field

研究代表者  
池田 賢司（Ikeda, Kenji）  
公益財団法人電磁材料研究所・その他部局・研究員

研究者番号：40769569  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は零磁界において高い磁気光学効果を発現する材料の開発を試みたものである。FeCo-SiNナノグラニューラー膜は、磁気ヒステリシスを有することから零磁界で磁気光学効果を示すが、光透過性が低いためデバイス応用に必要な性能指数が低い問題があった。本検討では、光透過性の高い層をナノメートルスケールで交互に積層することにより、光透過性と磁気ヒステリシスを両立し、零磁界において高い性能指数を有する磁気光学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

本研究は零磁界において磁気光学効果を発現する材料の開発を試み、光透過性の改善により実用デバイスへの適用可能性を高めたものである。この材料の開発に伴い、永久磁石などの磁界がない環境においても、磁気光学効果を得ることが可能となる。従来まで永久磁石を必要としていたアイソレータなどの光学部品を磁石レスで作製することが可能となれば、飛躍的な縮小化につながるため、次世代通信機器の利便性向上に大きく資するものだと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed the material that exhibits superior magneto-optical effect at zero magnetic field. FeCo-SiN nanogranular films exhibited magneto-optical effect at zero magnetic field due to its magnetic hysteresis, however, figure of merit of the films was not sufficient for optical device applications, because of low optical transparency of the films. We succeeded in fabricating a magneto-optical thin film with both optical transparency and magnetic hysteresis by alternating layers with high optical transparency on the nanometer scale.

研究分野：磁気光学材料

キーワード：磁気光学材料 ナノグラニューラー 零磁界 ファラデーロープ ヒステリシス

### 1. 研究開始当初の背景

磁界によって光の偏光面が回転する現象は、光が透過する場合はファラデー効果、反射する場合はカー効果と呼ばれ、代表的な磁気光学効果として古くから知られている。この現象は、光を一方向のみに透過する光アイソレータなどに応用されており、光通信の分野で欠かすことのできない部品として広く産業的に用いられている。現在の光アイソレータには磁気光学効果と光透過性を有する Bi 添加イットリウム鉄ガーネット(Bi-YIG)が用いられているが、ファラデー回転角の大きさが小さいことから偏光面を回転させるために必要な厚みが大きくなり、部品サイズの小型化が困難であることが長年の課題となっていた。この課題を解決するためには、薄膜化して基板に一体成型することが必要となるが、Bi-YIG 薄膜では十分な磁気光学効果が得られず、十分な小型化および集積化には至っていないのが現状である。申請者らは、強磁性ナノ粒子をフッ化物絶縁体マトリックス中に分散したナノグラニューラー材料薄膜が高い光透過性を有し、光通信波長帯におけるファラデー回転角の大きさが Bi-YIG の 40 倍以上となることを見出し、大きなファラデー回転角の原因が強磁性ナノ粒子の界面近傍の原子の磁気モーメントがエンハンスされていることにあることを明らかとした。[N.Kobayashi, K. Ikeda, Bo Gu, S. Takahashi, H.Masumoto, and S. Maekawa, "Giant Faraday Rotation in Metal-Fluoride Nanogranular Films", Scientific Reports, 8, 4978 (2018)] その磁気光学特性の大きさから、光学デバイスへの応用に対して非常に大きなポテンシャルを有する材料といえる。

一方、シリコンフォトニクスなどの半導体をプラットフォームとした集積フォトニクス技術においても小型高機能な光デバイスやそれらを高密度集積した光回路チップやモジュールの研究開発が進んでいる。しかしながら、急峻に光導波路を曲げた場合に損失や後方散乱が生じることから、素子サイズの更なる縮小が難しくなっている。また、作製時に生じる構造揺らぎや不完全性なども後方散乱の要因となる。その結果、後方散乱光などを生じ、システム全体の動作が不安定化してしまい、集積フォトニクスにおける大きな課題となっている。これらの問題に対処するためには、光の後方散乱が禁止されたカイラルエッジ状態の実現が求められている。この実現には、磁気光学効果材料を用いて系の時間反転対称性を破る必要がある[F. Haldane and S.Raghu, Phys. Rev. Lett., 100, 013904 (2008)]。将来の集積フォトニクスの発展には、以上に述べた課題を本質的に解決し、集積フォトニクスのプラットフォームを実現するためには、高い磁気光学効果を有する材料の適用が強く求められる状況にある。ナノグラニューラー薄膜を集積フォトニクス技術へ応用するためには、サブミクロンサイズで微細加工する必要がある。しかしながら、フッ化物は化学安定性が高いものが多いため、反応性イオンエッチング(RIE)での高精度の異方的な加工が困難であり、Ar ガスを用いた等方的なイオンミリングを用いる必要がある。この課題を解決するためには、RIE で高精度の微細加工が可能であるシリコンナイトライドや SiO<sub>2</sub> をマトリックス材料とすることが有効であると考えられる。

集積フォトニクス技術に磁気光学材料を適用した場合、局所的な磁化状態の制御が必要となるため、永久磁石などの外部磁界による磁化方向の制御が困難になることが予測される。これを解消するためには、ナノグラニューラー薄膜を強磁性化して大きい保磁力を付与し、残留磁化による磁気光学効果を発現させることにより、零磁界で動作させることが有効であると考えられる。強磁性化して保磁力を増加させるためには、磁性金属ナノ粒子に高い磁気異方性を付与することが必要となる。

以上のように、ナノグラニューラー薄膜を集積フォトニック技術へ適用するためには、マトリックス材料の変更や磁気異方性の付与などが必要であり、申請者は、零磁界で動作するナノグラニューラー磁気光学材料を開発し、集積フォトニクス技術への有効性を検証する本研究を計画した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、微細加工適性に優れ、残留磁化による高い磁気光学効果を有するナノグラニューラー磁性薄膜を開発し、集積フォトニクス技術に適用することにより、ナノグラニューラー磁気光学材料の有効性を検証することにある。

ナノグラニューラー薄膜は、自己組織化によって形成され、磁性粒子の粒径や絶縁体マトリックスの厚み及びその結晶性などは、使用する材料の組成や作成条件によって大きく変化することが知られている。本研究ではマトリックス材料に既存の半導体プロセスにおいて RIE による加工実績のあるシリコンナイトライドなどを適用し、微細加工性に優れたナノグラニューラー薄膜を作製し、磁性金属組成および作製条件を検討することにより、高い磁気光学効果を実現する。また、零磁界における磁気光学効果を実現するため、磁性金属ナノ粒子に磁気異方性を付与することにより高い保磁力を有する強磁性へと磁性を制御する。最終的には集積フォトニクス技術へのナノグラニューラー磁気光学材料の適用可能性を検証する。

### 3. 研究の方法

シリコンナイトライドおよび SiO<sub>2</sub> など半導体プロセスにおいて RIE の微細加工技術が確立している材料をマトリックスとしたナノグラニューラー構造の作製を、RF スパッタ装置を用いて試みる。スパッタ作製条件を制御することによる微細構造の最適化や、磁性金属とマトリックスの

組成比率を制御することにより高い磁気光学効果を創出する。

ナノグラニューラー薄膜の磁性ナノ粒子に磁気異方性の大きい材料を適用することにより、磁気異方性エネルギーが熱エネルギーに対して優位な状態を形成して強磁性とする。磁性金属組成およびスパッタ作製条件などを検討することにより、磁性ナノ粒子の粒径・結晶性を制御し、保磁力及び残留磁化の大きい磁化状態を形成する。更に、マトリックス材料の結晶性を向上させることにより光透過性を確保し、磁性金属の組成比率を検討することにより零磁界におけるファラデー回転角を可能な限り高め、磁気光学特性の性能指数の向上も併せて検討する。光学特性の評価を行うことによりナノグラニューラー磁気光学材料の有効性を判断する。

#### 4. 研究成果

零磁界でファラデー回転角を有する薄膜材料を作製することを目標として、マトリックス材料としてシリコンナイトライド (SiN)、磁性金属に Fe<sub>60</sub>Co<sub>40</sub> 合金を用いてナノグラニューラー薄膜を作製し、その磁気光学特性を解析した。雰囲気ガスに Ar と窒素の混合ガスを用いた反応性スパッタにより、FeCo ナノ粒子が SiN マトリックス中に分散したナノグラニューラー構造が形成されることが確認された。その磁気光学特性は窒素ガスの比率により大きく変化し、赤外通信波長帯 (1550 nm) におけるファラデー回転角は、窒素ガス比率が 20% で最大値となり、その絶対値は 5.0 (deg./ $\mu$ m) 以上の大きいファラデー回転角が得られることが明らかとなった。窒素ガスの比率を 80% 以上に増加させると、ファラデー回転角の大きさは減少する傾向にあるが、その磁化曲線が超常磁性から強磁性へと変化し、1 kOe 以上の大きい保磁力が確認された。保磁力の値は磁性金属含有量によって変化し、その最大値は 2.2 kOe、ファラデー回転角の絶対値は 10kOe 印加時に 2.3 (deg./ $\mu$ m)、零磁界でのファラデー回転角は 0.8 (deg./ $\mu$ m) となり、零磁界でのファラデー回転角の発現を確認した。

高い保磁力が得られた試料について TEM による構造解析を行ったところ、50nm 以上の粒径を有する FeCo 粒子が SiN マトリックス中に分散した構造が確認された。FeCo 粒子の粒径が大きくなり、磁気異方性エネルギーが熱エネルギーより大きくなったことが強磁性となった原因と推測できる。一方、強磁性が得られた試料は光透過性が大幅に低下しており、1550nm における透過率は 1-2% にとどまる。ナノ磁性粒子の粒径の増加、SiN マトリックスの窒素欠損などが影響していると推測される。光デバイスに応用するためには低い挿入損失が必要とされるため、光透過性の改善が主要な課題となる。

粗大粒子抑制を目標として、磁性金属含有量および成膜速度の異なる薄膜を作製し、その磁気光学特性を解析した。FeCo 組成が 10at.% 以下の領域において 50% 以上の光透過率 (1550nm) が得られた反面、ファラデー回転角は 0.2 (deg./ $\mu$ m) (零磁界) に低下し、磁気光学特性が大きく低下した。金属の光吸収が低下した反面、ナノ磁性粒子による誘電率非対角成分が減少したことにより起因すると考えられる。一方、磁性金属含有量を変えずに成膜速度を半分にして作製した結果、1.9 (deg./ $\mu$ m) (10kOe)、0.6 (deg./ $\mu$ m) (零磁界) のファラデー回転角が得られ、光透過率は 5.3% (1550nm) となった。粗大粒子の形成抑制などにより光吸収ピークが低波長側にシフトし、透過率が増加したものと推測される。零磁界における Faraday 回転角と光透過率から算出した挿入損失で性能指数 (FoM) を定義すると、成膜速度を抑制することにより FoM は 0.009 (deg./dB) から 0.029 (deg./dB) へと 3 倍以上の増加を示した。

また、低窒素濃度 (20%) で作製した薄膜について解析を行った結果、FeCo 組成が 25at.% 以上で保磁力を示すことが確認された。ファラデー回転角は 6.0 (deg./ $\mu$ m) (10kOe)、0.2 (deg./ $\mu$ m) (零磁界) であり、零磁界における回転角が小さい。これは保磁力が 0.1kOe と低いことに起因しており、保磁力の増加により大きく改善される可能性を示唆する。光透過率 (1550nm) は、磁性金属含有量が多く光吸収が強いため、1-2% にとどまる。

上述の透過率の課題解消を目標として、高透過率層と高保磁力層の積層薄膜を作製し、その磁気光学特性を解析した。FeCo-SiN 膜は、成膜中の窒素比率により特性が大きく変化し、窒素比率が高いほど保磁力が大きくなり、光透過率が低下する。本検討では、窒素比率を 100% および 20% で成膜した層を 10-30nm の範囲で交互に積層した薄膜を作製することで、品質係数 (FoM) の改善を行った。

積層薄膜を形成すると、透過率 (1310nm) が最大 10 倍以上となる反面、零磁界のファラデー回転角は、1/5 以下に低下する。透過率の変化は主に窒素 20% 成膜層の高透過率と積層構造の形成による窒素成膜層の異常粒成長の抑制が作用していると推測され、ファラデー回転角の変化は FeCo 粒子の粒径変化が主要因であると考えられる。FoM は窒素 20% 成膜層を薄くすると高くなり、最大で 0.034 (deg./dB) となり 20% の増加が確認された。ファラデー回転角の減少を抑えつつ、透過率を大幅に増加できたことが FoM 改善の主要因と推測できる。今回の検討結果により、FeCo-SiN 膜の零磁界でのファラデー回転角を確保しつつ、光透過性を 10% 程度まで改善し、新規磁気光学デバイスへの適用性をより高めることが可能となった。

本研究全体を通して FeCo-SiN 膜の保磁力及び零磁界のファラデー回転角を FeCo 組成によって制御可能であることを見出し、成膜速度の調整及び積層構造の適用により光透過率が向上し、品質係数 FoM を高めることが可能となった。FeCo-SiN 膜の課題であった光透過性の大幅な改善が行われたため、磁石を必要としない零磁界でのコンパクトな新規光応用デバイスへの適用可能性を大きく高められたことが実証された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liu Tianji, Kobayashi Nobukiyo, Ikeda Kenji, Ota Yasutomo, Iwamoto Satoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Topological Band Gaps Enlarged in Epsilon-Near-Zero Magneto-Optical Photonic Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 1621 ~ 1626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.1c01942	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 Nobukiyo, Iwasa Tadayoshi, Ikeda Kenji, Arai Ken-Ichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Faraday effect in CoPt-CaF <sub>2</sub> nanogranular films with hard magnetic property for magnetic-field-free faraday devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	6. 最初と最後の頁 2022..94037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2022.940370	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 Ikeda Kenji, Kobayashi Nobukiyo, Arai Ken-Ichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Large Faraday effect in nanogranular films with a high refractive index matrix	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 403 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.447532	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 Yang, Nogawa Kenta, Kobayashi Nobukiyo, Masumoto Hiroshi	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 075502 ~ 075502
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 Wang Cheng, Cao Yang, Kobayashi Nobukiyo, Ohnuma Shigehiro, Masumoto Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Structure and tunneling magneto-dielectric properties of Co <sub>2</sub> 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 085224 ~ 085224
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 Kijima-Aoki Hanae, Ohnuma Shigehiro, Kobayashi Nobukiyo, Masumoto Hiroshi	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 ~ 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 Cao Yang, Kobayashi Nobukiyo, Masumoto Hiroshi	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 082901 ~ 082901
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 小林 伸聖, 池田 賢司, 荒井 賢一	4. 巻 141
2. 論文標題 FeCo-BaF およびFeCo-SiN 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 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 123 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.141.123	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33件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 小林伸聖, 岩佐忠義, 池田賢司, 荒井賢一
2. 発表標題 CoFe204-フッ化物系ナノグラニューラ-膜のファラデー効果
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 池田賢司, 小林伸聖, 荒井賢一
2. 発表標題 FeCo-SiNナノグラニューラ-薄膜の磁気光学ヒステリシスの解析
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 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田 賢司, Tianji Liu, 太田 泰友, 岩本 敏, 小林 伸聖
2. 発表標題 イプシロンニアゼロ特性を示すCo-ITOナノグラニューラ-薄膜の磁気光学効果
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
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 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-Al2O3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 日本金属学会2023年春季講演大会
4. 発表年 2023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-BaF2ナノ複相膜のCo添加量の効果
3. 学会等名 日本金属学会2023年春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林伸聖, 岩佐忠義, 池田賢司, 荒井賢一
2. 発表標題 (Fe-Pt, Co-Pt)- フッ化物系ナノグラニューラ-膜のファラデー効果
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 池田賢司, Tianji Liu, 太田泰友, 岩本 敏, 小林伸聖
2. 発表標題 イプシロンニアゼロ材料をマトリックスとしたナノグラニューラー薄膜の磁気光学効果
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 池田賢司, Tianji Liu, 太田泰友, 岩本 敏, 小林伸聖
2. 発表標題 イプシロンニアゼロ特性を有するITO薄膜の磁気光学効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
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 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 H. Aoki Kijima, Y. Endo, T. Miyazaki, T. Nojima, K. Ikeda, N. Kobayashi, S. Ohnuma and H. Masumoto
2. 発表標題 Shape effect of cobalt nano-particles on magnetic properties of Co-SiO <sub>2</sub> nano-granular films.
3. 学会等名 MMM-InterMag2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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 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 日本金属学会秋期第169回講演大会
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-BaF <sub>2</sub> ナノコンポジット膜の磁気・静電特性
3. 学会等名 令和3年度 日本セラミック協会 東北北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozomi Yokohama, Hanae Aoki, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi, Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Effect of heat treatment on structure and properties of Co-BaMgF <sub>4</sub> nanocomposite film
3. 学会等名 東北大-台北技科大オンラインジョイントシンポジウム2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hanae Aoki, Katsuhiko Uchikoshi, Takamichi Miyazaki, Masato Ohnuma, Yoshiki Honda, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, Hiroshi Masumoto
2. 発表標題 Structure of cobalt-(barium-fluoride) lateral nano-granular films under slow-motion tandem method
3. 学会等名 MRM2021 (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 MRM2021 (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 MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 C. Wang, Y. Endo, Y. Cao, H. Aoki Kijima, N. Kobayashi, S. Ohnuma and 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 MMM-InterMag2022 (国際学会)
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ユラー膜の構造とトンネル伝導の関係
3. 学会等名 日本金属学会 2022年 春期 第170回講演大会
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 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ス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 打越 雄央、青木 英恵、小林 伸聖、大沼 繁弘、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> ナノグラニユラー膜の電気・磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会春期第168回講演大会
4. 発表年 2021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ユラー膜の磁気異方性制御
3. 学会等名 日本金属学会春期第168回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tianji Liu, Nobukiyo Kobayashi, Kenji Ikeda, Yasutomo Ota, Satoshi Iwamoto
2. 発表標題 Investigation of enlarged topological band gaps in magneto-optical epsilon-near-zero photonic crystals
3. 学会等名 2021年第28回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 賢司, 小林 伸聖, 荒井 賢一
2. 発表標題 SiNをマトリックスとしたナノグラニューラー薄膜の磁気光学効果
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 伸聖, 池田 賢司, 岩佐 忠義, 荒井 賢一
2. 発表標題 ナノグラニューラー(FeCo)-(BaF, SiN)膜の巨大ファラデー効果
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 伸聖
2. 発表標題 ナノグラニューラー透明磁性薄膜の巨大ファラデー効果
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会と磁気学会光機能磁性デバイス・材料専門研究会の合同研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 伸聖, 池田 賢司, 荒井 賢一
2. 発表標題 透明-強磁性ナノグラニューラー膜の巨大ファラデー効果
3. 学会等名 Microwave Workshop & Exhibition, MWE2020, マイクロウェーブワークショップ(招待講演)
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 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電気および磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会秋期第167回講演大会
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 トンネル効果に与えるCo-BaF <sub>2</sub> ナノグラニューラー層状膜のCo粒子の形状と周期性の影響
3. 学会等名 日本金属学会秋期第167回講演大会
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 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 パリティ編集委員会、大槻 義彦	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 204
3. 書名 物理科学, この1年 2022	

〔出願〕 計16件

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、111126620	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/026985	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、18/019543	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、112022000092.9	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 岩本敏、太田泰友、 池田賢司、小林伸聖	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-571853	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 岩本敏、太田泰友、 池田賢司、小林伸聖	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、18/019317	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 岩本敏、太田泰友、 池田賢司、小林伸聖	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、112022000093.7	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ナノグラニューラ構造材料およびその作製方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、18/019914	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ナノグラニューラ構造材料およびその作製方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 電磁材用研究所
産業財産権の種類、番号 特許、112022000090.2	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 小林 伸聖、岩佐 忠 義、池田 賢司、荒井 賢一	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-134657	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 岩本敏、太田泰友、 池田賢司、小林伸聖	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/000798	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気光学材料およびその製造方法	発明者 岩本敏、太田泰友、 池田賢司、小林伸聖	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、111101479	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ナノグラニューラ構造材料およびその作製方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/008503	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ナノグラニューラ構造材料およびその作製方法	発明者 小林伸聖、岩佐忠 義、池田賢司、荒井 賢一	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、111107891	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ナノグラニューラ構造材料およびその製造方法	発明者 小林 伸聖、岩佐 忠 義、池田 賢司、荒井 賢一	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-035401	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 電磁光学材料およびその製造方法	発明者 池田 賢司、小林 伸 聖、岩本 敏、太田 康友	権利者 公益財団法人電 磁材料研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-003325	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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   (71301)	

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