

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03776

研究課題名（和文）フレキシブル磁気光学イメージングプレートによる磁気イメージング技術の新展開

研究課題名（英文）Magnetic imaging using flexible magneto-optical imaging plate

研究代表者

石橋 隆幸（Ishibashi, Takayuki）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：20272635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、大面積や曲面での磁場分布計測を実現する、フレキシブル磁気光学イメージングプレートを実現させるために、磁気光学イメージングプレートに用いる磁性ガーネット膜の塗布光照射法（光MOD法）を用いた低温成膜技術および効率的なMOD溶液の塗布技術を開発した。レーザー照射による磁性ガーネット膜の作製プロセスでは、プロセスの最高温度を従来の650よりも200低い450まで低減することに成功した。また、超音波霧化方を採用することにより、効率的にMOD溶液を塗布する技術の開発にも成功した。さらに、磁気光学イメージング技術では、これまで困難であった3次元磁場分布計測技術の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した磁性ガーネット膜の低温成膜技術と超音波霧化法によるMOD溶液塗布技術が実現したことで、本研究の目的であるフレキシブル磁気光学イメージングプレートだけでなく、任意形状の測定対象物上に磁性ガーネットを直接形成することが可能になった。この成果は、これまで困難であった電動機などの複雑な形状の電流や磁場を可能にし、磁気イメージング技術を大きく進展させる成果である。また、薄膜の低温形成技術としても、様々な機能性材料の薄膜化へ応用が期待される

研究成果の概要（英文）：To realize a flexible magneto-optical imaging plate, we developed a low temperature preparation process for garnet films using the laser assisted metal-organic deposition method. The maximum process temperature for garnet films was successfully decreased from 650 to 450 degree C. A technique for deposition of MOD solutions using ultrasonic atomizer was developed, resulting that MOD solutions could be efficiently deposited on arbitrary shaped materials. In addition, an MO imaging technique measuring 3D magnetic field distributions was successfully developed.

研究分野：磁気工学

キーワード：磁気イメージング 磁気光学効果 磁性ガーネット 有機金属分解法 光MOD法 低温成膜技術 磁気光学イメージングプレート

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、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

現在、使用されている総電力量のうち、約6割がモーターなどの電動機で消費されている。一方で、大電力を必要とする、電気自動車、電気航空機、リニアモーターカー、の開発が行われているが、必要とされる電力が大きいことから、それらの高効率化は最重要課題の一つである。電気自動車を例にとると、1台あたり数百kW以上もの電力を必要とすることから、1%の効率改善を行うことが出来れば、電気自動車一台で一般家庭一軒分の電力が節約できることになる。実際の高効率化に向けた対策としては、電気モーターだけでなく、大電力用の半導体および配線を含む電気回路、二次電池などのすべての損失の低減に加え、大型化する配線や電気回路における不要な部材を減らすことによる軽量化も重要である。そのためには、モーターや電池の効率化の研究に加えて、測定対象物周辺の磁場分布および測定対象物中の電流分布を計測する評価技術が必要不可欠である。さらには、航空機の機体の亀裂、リチウムイオン電池中の欠陥や異物などを検出する非破壊検査技術も重要である。しかしながら、そのような要求を満たす、計測技術は存在していない。磁気イメージング技術は、強磁性体からの漏洩磁場だけでなく、電流から生じる磁場の分布を計測する技術である。さらには、交流磁界を併用することで、金属異物や金属中の欠陥などの可視化も可能である。このように、多岐にわたる測定対象物を網羅する磁気イメージング技術の実現は、産業の発展にとって急務である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで未開拓であった領域の磁気イメージング技術の創出である。そのために、大面積や曲面での磁場分布計測を実現する、フレキシブル磁気イメージングプレートの開発とそれを用いた磁場、電流計測技術を開発する。具体的には、磁気光学イメージングプレートに用いる磁気光学材料である磁性ガーネット膜の塗布光照射法(光MOD法)を用いた低温成膜技術およびマイルドな溶液塗布が可能な霧化装置を用いたMOD溶液の塗布技術の開発を目的とした。さらに、磁性ガーネットとシート状の光源を一体化させた光源一体型磁気光学イメージングプレートを用いた電流および磁場の定量測定技術の研究開発も目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 磁性ガーネット膜の塗布光照射法を用いた低温成膜技術の開発

本研究で構築したレーザー照射装置の外観写真を図1に示す。光源にエキシマKrFレーザー(COMPEX110、COHERENT、波長:248nm、パルス幅は20ns)を用いて発生させた半値幅約20nmのレーザーパルスを、アッテネーターによりレーザー光強度を減衰させ、ホモジナイザーで光強度分布を均一化させた後、エキシマレーザー(248nm)用ミラーで反射させ、ホットプレート上に設置した試料に垂直に照射する。実験に先立ち、有限要素法を用いた温度シミュレーションを行った。計算には、COMSOL multi-physicsを用い、おおよそのレーザー照射条件を得た。計算条件には、実際に用いたレーザーパルスと同じ条件を用いた。試料はのモデルは、 $Gd_3Ga_5O_{12}$  (GGG) 基板の薄膜の  $Y_3Fe_5O_{12}$  (YIG) とした。

ビスマス置換磁性ガーネットの作製には、組成比を  $Nd : Bi : Fe : Ga = 0.5 : 2.5 : 4.5 : 0.5$  としたMOD溶液(NdBiFeGa-04、(株)高純度化学研究所)を用いた。実験では、単結晶GGG(111)基板( $10 \times 10 \times 0.5 \text{ mm}^3$ )上にMOD溶液を滴下後、3000rpmで30秒間スピコートし、ホットプレート上で100°Cで10分間乾燥させ溶媒を除去した。そして、450°Cで10分間の仮焼成を行い、MOD溶液に含まれる有機成分を分解した。その後、仮焼成後の膜をホットプレート上で450°Cに加熱しながら、KrFレーザーを照射した。すべてのプロセスは大気中で行った。使用したKrFレーザーの、フルエンスは40、60、80、100  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、照射時間は10、30分間とした。レーザーエネルギーは、ホモジナイザーによって  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  の面積で均質化した。光MOD法と比較するために、従来のMOD法を用いて試料を作製した。MOD法による試料は、GGG(111)基板上に上記のMOD溶液をスピコートし、仮焼成までの段階を光MOD法と同様のプロセスで行い、その後、電気炉を用いて650°Cで3時間15分間、空気中で本焼成し、室温まで放冷した。

これらの試料の評価は、X線回折装置、磁気光学スペクトロメーター、原子間力顕微鏡、透過型電子顕微鏡により行った。

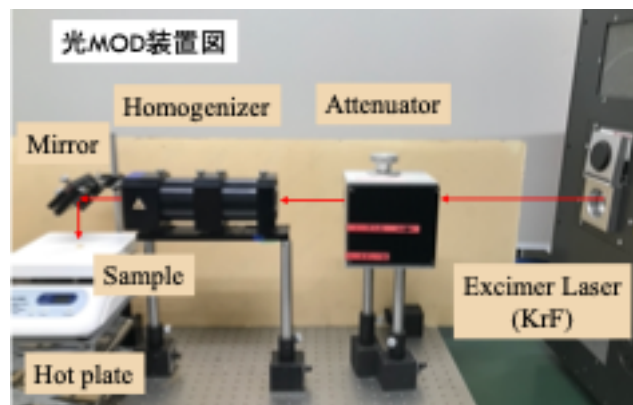


図1 構築した光MOD装置の写真

## (2) 磁気光学イメージング技術の開発

本研究では、磁性ガーネットとシート状の光源を一体化させた光源一体型磁気光学イメージングプレートを用いた定量的な磁気光学イメージング技術の開発を行った。具体的には、磁気光学イメージングで計測される垂直方向の磁場成分の定量測定技術とその結果から面内成分の磁場成分を求める技術の開発を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 磁性ガーネット膜の塗布照射法を用いた低温成膜技術の開発

図2に基板温度を450°CとしてKrFレーザーを照射したときのYIG膜表面温度のシミュレーション結果を示す。レーザー照射後、50 ns付近（レーザー強度が最大となる40 nsよりも10 ns後）で最高温度を示した。40 mJ/cm<sup>2</sup>のフルエンスでMOD法の本焼成温度に近い650°C付近まで、瞬間的な膜表面の温度が上昇することがわかった。また、60 mJ/cm<sup>2</sup>で磁性ガーネットの結晶化温度を超える750°C付近まで温度が上昇した。80 mJ/cm<sup>2</sup>及び100 mJ/cm<sup>2</sup>のフルエンスでは、さらに高い温度領域まで瞬間的に温度が上昇することがわかった。次に、図3に深さ方向の温度プロファイルを示す。照射時間50 nsでは、表面から約100 nmの厚さの領域で温度が上昇していることがわかる。一方、深さが1000 nmを超えると、ほとんど温度の上昇が見られないことがわかった。さらに、次のパルスが照射される0.1秒後までには十分に温度が下がっていることも明らかになった。以上の結果より、基板温度をこれまでの650°Cから200°C低い温度に保ったまま、磁性ガーネット薄膜のみを結晶化できる温度まで上昇させることが可能であることがわかった。これらの計算結果を基に、薄膜作製の実験を行った。

図4に、光MOD法によって作製された磁性ガーネット膜のX線回折パターンを示す。比較として、MOD法による電気炉プロセスで作製した膜も示す。図4からわかるように、仮焼成の段階(450°C)では、GGG基板の444回折ピークのみが観察され、Bi,Ga:NIG膜は結晶化されなかった。一方、電気炉で650°Cの本焼成を行うと50.09°付近にBi,Ga:NIGによると考えら

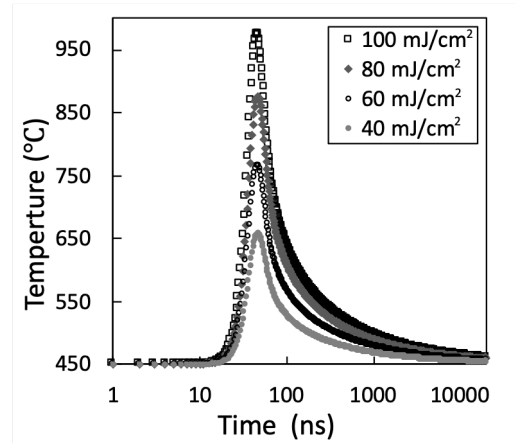


図2 YIG膜表面温度の経時変化のシミュレーション

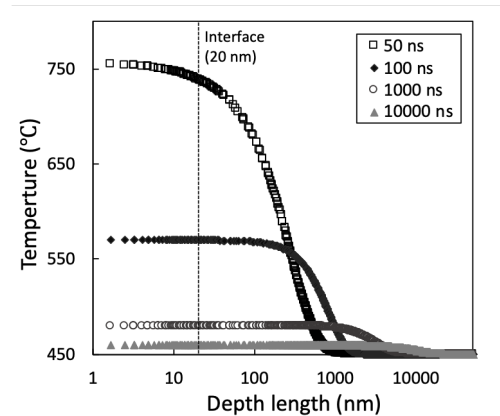


図3 フルエンスが60 mJ/cm<sup>2</sup>の時のYIG膜の深さ方向への温度ラインプロファイルとその経時変化

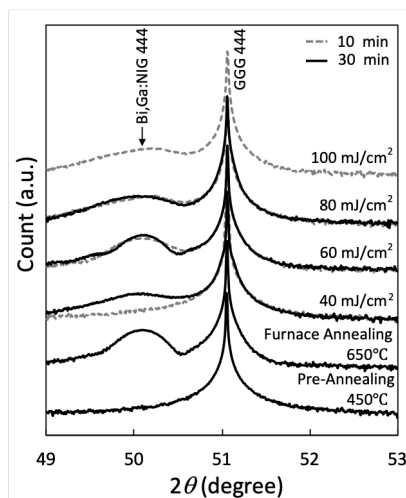


図4 光MOD法によって作製されたBi,Ga:NIG膜のXRDパターン

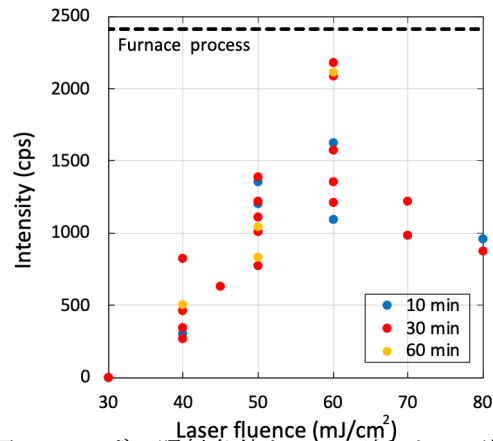


図5 レーザー照射条件と444回折ピーク強度の関係



れる 444 回折ピークが観察された。光 MOD 法により作製した膜については、フルエンスが  $40 \text{ mJ/cm}^2$  で 10 分間の照射を行った場合、444 回折ピークが見られなかったが、30 分間の照射では  $50.04^\circ$  付近にブロードなピークが観察された。 $60 \text{ mJ/cm}^2$  の場合は、10 分間の照射で  $50.12^\circ$  付近に比較的大きな 444 回折ピークが得られ、30 分間の照射により電気炉で結晶化した試料と同程度の回折強度の 444 回折ピークが  $50.08^\circ$  付近に得られた。 $80 \text{ mJ/cm}^2$  および  $100 \text{ mJ/cm}^2$  では、10 分間の照射で強度は小さいがブロードな 444 回折ピークが得られたが、その回折ピークは  $50.20^\circ$  付近に得られ、高角度側にシフトしているために膜に歪みが生じていることが示唆された。フルエンスが  $80 \text{ mJ/cm}^2$  で 30 分間の照射の場合は、10 分間の照射の場合と回折ピークの強度は変わらなかった。444 回折ピークの半値幅については、 $60 \text{ mJ/cm}^2$  で 30 分間照射した時が最も小さい値となった。実験で行ったすべての試料について得られた 444 回折ピーク強度とレーザー照射条件の関係を図 5 に示す。レーザーフルエンスが  $60 \text{ mJ/cm}^2$  の時に回折強度が高くなっていることがわかる。また、得られた最も高い回折強度は、電気炉で焼成した場合に匹敵する強度となっていることがわかる。

次に、作製したガーネット膜のファラデー回転スペクトルを図 6 に示す。電気炉で焼成した膜とスペクトルの形状を比較すると、ほぼ同様な形状を示していることから、レーザー照射によって結晶化した試料でも、希土類サイトに Bi 置換されていることが確認できた。電気炉で結晶化した試料のファラデー回転角は、波長  $522 \text{ nm}$  付近で  $0.22^\circ$  であった。 $40 \text{ mJ/cm}^2$  で 30 分間照射すると、ファラデー回転角は、波長  $522 \text{ nm}$  付近で  $0.16^\circ$  となった。この回転角は、今回光 MOD 法によって作製した膜で最大の回転角であるが、電気炉で結晶化を行った試料の 72 % の大きさであることから、結晶化が不十分であるに起因していると考えている。

図 7 は、霧化装置を用いた MOD 溶液の塗布装置の写真である。青色の筒状の部分が超音波ヘッドである。この中に送り込まれた MOD 溶液は、下に突き出たノズル先端で霧化され、下方に噴霧される。この装置を用いて、MOD 溶液の塗布を行った試料の写真を図 8 に示す。上端部および縁の部分にムラが見られるが、全体的には均一な塗布が行うことができることが確認できた。この開発によって、MOD 溶液の効率的な塗布に加えて、平坦ではない内試料上への MOD 溶液の塗布も可能になった。

## (2) 磁気光学イメージング技術の開発

図 9 に光源一体型磁気光学イメージングプレートの写真を示す。大きさは、縦  $156 \text{ mm}$  × 横  $113 \text{ mm}$  × 厚さ  $1.7 \text{ mm}$  である。光源および偏光板が一体化されていることから、測定対象物にかざすだけで磁場分布の可視化が可能である。しかし、測定面に垂直方向の磁場分布しか測定できないことと定量的な測定が困難であることから、定量測定技術の開発を行った。

測定試料は、フェライト磁石とし、偏光板を張り付けた赤色 LED 光源 (ミスミ製 LEDXR120) から出た直線偏光を磁気光学イメージングプレートに垂直入射させ、ハーフミラ

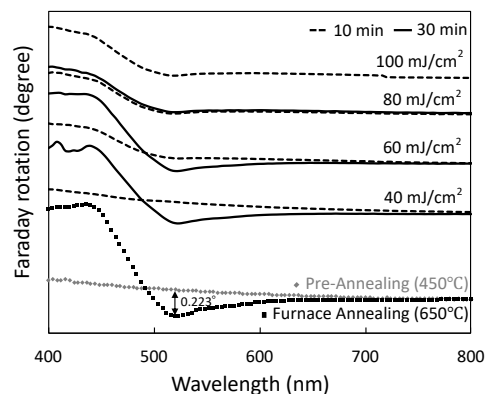


図 6 基板温度  $450^\circ\text{C}$  で作製した Bi, Ga:NIG 膜 (1 層) のファラデー回転スペクトル

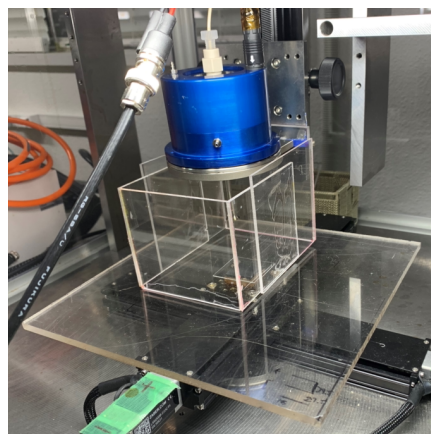


図 7 霧化装置を用いた MOD 溶液の塗布装置

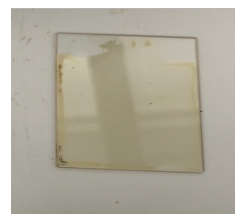


図 8 開発した霧化装置によって MOD 溶液を塗布した試料 (3 cm 角) の写真

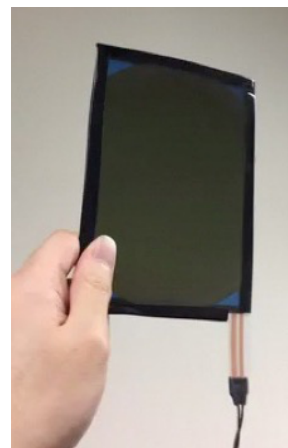


図 9 光源一体型磁気光学イメージングプレートの写真

ーを介して反射光を偏光カメラ (Baumer 社製 VCXG-50MP) で撮影する光学系を構築した。磁気光学イメージングプレートは、直径 75 mm のガラス基板の上に作製した Bi 置換 Nd 鉄ガーネットの上に反射膜として Ag 合金をスパッタリング法によって製膜したものを用いた。磁気光学イメージングプレートと測定対象の距離が 0, 2, 4mm の位置で撮影し、得られた磁気光学像を磁気転写膜の磁場と回転角の関係から垂直磁場分布像に変換した。フーリエ変換によって空間周波数領域で面内成分変換フィルター処理後、逆フーリエ変換を行い面内方向の磁場分布像を得た。図 10 に試料に用いたフェライト磁石の写真、測定した垂直成分の磁場分布像、距離 0, 2, 4mm における垂直磁場分布とフィルター処理によって得られた面内磁場成分を組み合わせ得られた 3 次元磁場分布を示す。距離 0 mm での 3 次元磁場分布を見ると、磁極中央で垂直磁場成分が強く影響し、磁極の境界で面内磁場成分が強く影響していることから磁石の磁場分布と概ね一致していることがわかる。また、距離が 2mm, 4mm と離れていくにつれて磁場強度は減少していることがわかる。このように、磁気光学イメージングによって 3 次元磁場分布を容易に可視化することが可能になった。

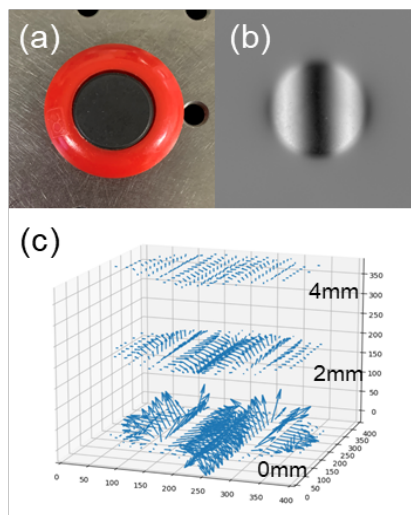


図 10 (a) フェライト磁石の画像、(b) フェライト磁石の磁気光学像、(c) 得られた磁気光学像から計算で得られた 3 次元磁場ベクトル分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 藤田 拓実、相場 遥佳、西川 雅美、野中 尋史、石橋 隆幸、河原 正美、中嶋 智彦、土屋 哲男	4. 巻 MAG-21-043
2. 論文標題 ベイズ最適化を用いた光MOD法による Bi置換希土類鉄ガーネットの作製条件の最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 19-24
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 浦川諒大、西川雅美、河原正美、大島大輝、加藤剛志、石橋隆幸	4. 巻 MAG-21-043
2. 論文標題 高ビスマス置換希土類鉄ガーネット薄膜の作製と磁気異方性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	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） 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 Ishibashi T.	4. 巻 44
2. 論文標題 Magneto-optical Imaging Using Bismuth-substituted Iron Garnet Films Prepared by Metal/Organic Decomposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	6. 最初と最後の頁 108 ~ 116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3379/msjmag.2009RV002	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 S. S. Aplesnin, A. N. Masiugin, M. N. Sitnicov, and Takayuki Ishibashi	4. 巻 464
2. 論文標題 Colossal Magnetostriction and Electrostriction of Bismuth-Substituted Neodymium Iron Garnet Films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mag. Mag. Mat.	6. 最初と最後の頁 44-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2018.05.03	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 該当する

1. 著者名 Yosuke Nagakubo, Michimasa Sasaki, Sakae Meguro, Masami Nishikawa and Takayuki Ishibashi	4. 巻 57
2. 論文標題 Magneto-optical imaging plate with backlight for quantitative measurement of magnetic field distribution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 09TC02-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.09TC02	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 Jion Yamakita, Gengjian Lou, Masami Nishikawa, Takeshi Kato, Satoshi Iwata and Takayuki Ishibashi	4. 巻 57
2. 論文標題 Magnetic properties of bismuth-substituted neodymium iron garnet films on Gd <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub> (100) substrates determined by ferromagnetic resonance measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 09TC01-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.09TC01	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 趙 嘉欣、婁 庚健、西川 雅美、石橋 隆幸	4. 巻 MAG-1MAG-18
2. 論文標題 有機金属分解法によるガラス基板上へのNd <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub> 薄膜の作製条件の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会研究会資料	6. 最初と最後の頁 49-54
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 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 3件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 藤田 拓実、相場 遥佳、西川 雅美、野中 尋史、石橋 隆幸、河原 正美、中嶋 智彦、土屋 哲男
2. 発表標題 ベイス最適化を用いた光MOD法による Bi置換希土類鉄ガーネットの作製条件の最適化
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相場 遥佳、藤田 拓実、西川 雅美、石橋 隆幸、河原 正美、中島 智彦、土屋 哲男
2. 発表標題 光MOD法を用いたBi置換ネオジム鉄ガーネット薄膜の結晶化プロセスの評価
3. 学会等名 日本電子材料技術協会第57回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田 拓実、相場 遥佳、西川 雅美、野中 尋史、河原 正美、中島 智彦、土屋 哲男、石橋 隆幸
2. 発表標題 ペイズ最適化を用いた光MOD法によるBi置換希土類鉄ガーネットの作製条件の最適化
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川 雅美、浦川 諒太、河原 正美、石橋 隆幸
2. 発表標題 R <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub> (R = Eu, Su, Pr)薄膜の磁気異方性の評価
3. 学会等名 第68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 相場遥佳, 藤田拓実, 西川雅美, 河原正美, 中島智彦, 土屋哲男, 石橋隆幸
2. 発表標題 光MOD法により作製したBi置換ネオジム鉄ガーネット薄膜の磁気光学特性の評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 T. Ishibashi, Y. Kimura, M. Nishikawa, M. Sasaki, T. Yamaguchi
2. 発表標題 Magnetic domain observation of unpolished amorphous soft magnetic metal ribbons using MO imaging plates
3. 学会等名 Joint European Magnetic Symposia (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Urakawa, M. Nishikawa, M. Kawahara, T. Ishibashi
2. 発表標題 Preparation and characterization of Eu <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe <sub>50</sub> 12 thin films for magneto-optical imaging
3. 学会等名 Joint European Magnetic Symposia (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浦川諒大, 西川雅美, 河原正美, 大島大輝, 加藤剛志, 石橋隆幸
2. 発表標題 R <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe <sub>50</sub> 12 (R=Pr, Sm, Eu) 薄膜の作製と強磁性共鳴測定による評価
3. 学会等名 日本電子材料技術協会第57回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 知之, 佐々木 教真, 西川 雅美, 石橋 隆幸
2. 発表標題 MOイメージングによる3次元磁場分布の測定
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川 雅美, 河原 正美, 中島 智彦, 土屋 哲男, 石橋 隆幸
2. 発表標題 光MOD法によるBi置換磁性ガーネット膜の低温作製
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋 隆幸
2. 発表標題 磁性ガーネット膜を用いた磁場の可視化技術の開発
3. 学会等名 第28回材料科学に関する若手フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 趙 嘉欣、婁 庚健、西川 雅美、石橋 隆幸
2. 発表標題 有機金属分解法によるガラス基板上へのNd <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe <sub>50</sub> 1 <sub>2</sub> 薄膜の作製条件の検討
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 趙 嘉欣, 婁 庚健, 西川 雅美, 石橋 隆幸
2. 発表標題 有機金属分解 (MOD) 法によるガラス基板上への Nd <sub>2</sub> BiFe <sub>4</sub> Ga <sub>0</sub> 1 <sub>2</sub> 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 婁 庚健, 山北 慈音, 西川 雅美, 加藤 剛志, 岩田 聡, 石橋 隆幸
2. 発表標題 Y3-xBi <sub>x</sub> Fe5012 薄膜の強磁性共鳴の角度依存性の評価
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西川雅美, 相場遥佳, 浦川諒大, 木村優太, 藤枝崇周, 山本 匠, 婁 庚健, 河原正美, 石橋隆幸
2. 発表標題 R <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe5012 (R = Eu, Sm, Pr) 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝崇周, 木村優太, 婁 庚健, 西川雅美, 河原正美, 石橋隆幸
2. 発表標題 有機金属分解法による Pr <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe5012薄膜の作製と評価
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川諒大, 山本 匠, 婁 庚健, 西川雅美, 河原正美, 石橋隆幸
2. 発表標題 有機金属分解法による Sm <sub>0.5</sub> Bi <sub>2.5</sub> Fe5012 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Takano, M. Nishikawa, H. Asada, T. Ishibashi
2. 発表標題 Evaluation of dead layers in Bi-substituted magnetic garnet thin films prepared by metal organic decomposition method
3. 学会等名 Joint European Magnetic Symposia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Ishibashi, Gengjian Lou, Jion Yamakita, Masami Nishikawa Nobuyasu Adachi, Takeshi Kato, Satoshi Iwata
2. 発表標題 Magnetic Anisotropy of Nd <sub>3</sub> -xBi <sub>x</sub> Fe <sub>5</sub> -yGayO <sub>12</sub> Studied by FMR Measurements
3. 学会等名 The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Ishibashi
2. 発表標題 Novel magneto-optic imaging technique using Bi-substituted iron garnet films on glass substrates
3. 学会等名 ETOPIM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Ishibashi
2. 発表標題 Highly Bismuth-Substituted Rare-Earth Iron Garnet Films Prepared by Metal Organic Decomposition Method
3. 学会等名 8th Tsukuba International Coating Symposium (TICS8) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Optic & magnetic materials laboratory  
https://mst.nagaokaut.ac.jp/~t\_bashi/

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	西川 雅美  (Nishikawa Masami)  (20622393)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授   (13102)	

	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
連携研究者	土屋 哲男  (Tsuchiya Tetsuo)  (80357524)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・先進コーティング技術研究センター・副センター長   (82626)	

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