

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：63902

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13386

研究課題名(和文) 磁性フォトニック構造ファイバーによる、磁気光学効果増大と光波制御

研究課題名(英文) Enhancement and control of the magneto-optic effect by the magnetic photonic fiber structure

研究代表者

安原 亮 (Yasuhara, Ryo)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：30394290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高性能な高出力レーザー用ファラデーアイソレーターの実現を目指して、3次元の磁気フォトニック結晶構造が作成可能な、高出力レーザー用YIGセラミックス材料の萌芽的な研究を行った。セラミックス技術を用いたYIG(Y₃Fe₅O₁₂、イットリウム鉄ガーネット)材料の作成を行い、透光性を確認した。さらに磁気光学特性の測定を行いYIG単結晶と同等の特性を持つことを明らかにした。今後、材料プロセス等の検討によって、光学特性を向上し、本材料を用いた磁性フォトニック構造を実現していく予定である。

研究成果の概要(英文)：To realize the high performance Faraday isolator for high power laser, basic research of YIG (Y₃Fe₅O₁₂, yttrium iron garnet) ceramics material for high power laser which can produce 3 dimensional magnetic photonic crystal structure was performed. The translucency of YIG ceramics was confirmed as the first time. Furthermore, we measured the magneto-optic property that is the comparable of the YIG single crystal. We plan to improve the optical characteristics and realize the magnetic photonic structure using this material by studying material process etc in the future.

研究分野：レーザー工学、プラズマ計測

キーワード：高出力レーザー ファラデー効果 光アイソレーター 透明セラミックス 鉄ガーネット

1. 研究開始当初の背景

代表的な磁気光学効果であるファラデー効果を利用して光の逆進を防止する光アイソレーターは、基本光学素子の一つである。特に、ファイバーを用いた光学系では、アイソレーターの設置が欠かせない。これは戻り光が、低損失で上流側へと伝搬して、光学ノイズや光学素子にレーザー損傷を与える原因となるためである。しかしながら、一般的に用いられる TGG (Terbium gallium garnet) 結晶などのバルク結晶を利用したアイソレーターには、A)空間伝送が必要でファイバーでの直接光伝送ができない、B)小型化が難しい、C)消光比のよい結晶の作成が難しい、といった問題がある。

2. 研究の目的

本研究では、ファイバーへ直接結合が可能な小型光アイソレーターの実現を目的とする。研究代表者は、磁気光学媒質として世界初となる透光性 TGG セラミックスを実証してきた。セラミック技術を用いることで、均質で消光比のよい磁気光学媒質が実現している。また、低温冷却することで増大するファラデー効果を利用した短尺 TGG セラミック素子を提案した。これらによって本研究背景となる課題の一部は改善したが、今後の高出力レーザー応用にはより高性能なアイソレーター材料の開発が欠かせない。特に、波長 $1\mu\text{m}$ 帯だけではなく、幅広い波長領域での高性能アイソレーターは広く求められている。

3. 研究の方法

本研究では、3次元の磁気フォトニック結晶構造が作成可能な、高出力レーザー用 YIG 材料の開発によって上記目的の達成を目指した。YIG ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 、イットリウム鉄ガーネット)系材料は、例えばレーザーによるフォトニック構造の書き込みによって、磁気光学特性をコントロールすることが可能であるという研究結果が報告されている (T. Amemiya, et al., Opt. Lett. 39, 212-215 (2014))。しかしながら実現されている方法は薄膜を基にした作成方法で、均一な大口径化や厚さ方向のスケーリング拡大が難しい。また、現在実現されている単結晶成長による作成方法は、作成方法が FZ 法を用いるため大型化が難しい。近赤外領域から中赤外領域での高出力レーザーで用いるためには、厚さ方向へ拡大可能で、大口径化可能な YIG 材料の実現が重要である。

本研究では、高出力レーザーに適した、最終的に磁気フォトニック構造を有するバルク様 YIG 材料を実現するために透明セラミック技術を用いた YIG セラミックスを開発した。これにより、径方向及び厚さ方向に拡大可能な高出力レーザー用材料が実現し、レーザー書き込み等でフォトニック構造を与えることで磁気光学効果をコントロールす

るための基本材料が実現した。研究開始当初は、希土類添加ファイバーによって、ファイバー結合型の高出力レーザー用アイソレーターの実現を計画したが、より効果と革新性が見込める透明 YIG セラミックスを用いた方法に方針転換を行った。本報告書では、実現した YIG セラミックス材料の磁気光学特性について報告する。

図1に今回の研究で実現した YIG セラミックスの外観を示す。YIG 単結晶と同じく、黒色を示し、可視域では透光性がみられない。作成した材料は径 10mm、厚さ 0.5mm のサンプルで原料粉末より焼結を行うことによって作成した。本サンプルについて、光学特性および磁気光学特性について測定評価を行った。

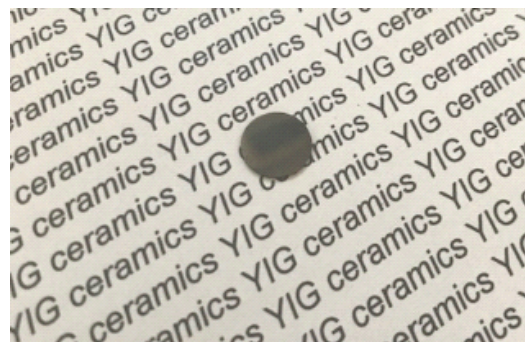


図1 YIGセラミックス外観

図2に 400nm から $2.5\mu\text{m}$ と非常に幅広いスペクトルを有する広帯域光源を用いた磁気光学効果の測定装置を示す。広帯域光源より出力された白色光は、入力用偏光子によって直線偏光成分を分離しサンプルに入射する。サンプルは永久磁石中に設置して、外部から磁場を印加する。サンプルの磁気光学効果によって偏波面が回転した白色光を2つ目のポラライザーとその後ろに設置された光スペアナによって回転角の計測を行う。計測された偏光回転より、磁気光学特性を示すパラメータであるベルデ定数を算出した。

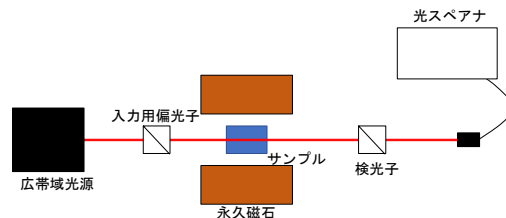


図2 磁気光学特性測定実験装置概要

4. 研究成果

作成した YIG セラミックスの光学特性を表現するために透過率の測定を行った。使用したサンプルは $\phi 10\text{mm}$ 、厚さ 0.5mm の YIG セラミックスサンプルである。図 3 に測定結果を示す。

今回評価したサンプルは、短波長側、 $1.5\ \mu\text{m}$ では、透過率 18% となった。透過率は低いものの、今回得られたサンプルは焼結法によって作成された YIG セラミックスとしては初めて透光性が得られた結果の報告となる。長波長側では透過率は向上し、波長 $3\ \mu\text{m}$ では 67% の透過率、波長 $4\ \mu\text{m}$ では 70% の透過率が得られている。比較のため測定した FZ 法で作られた単結晶 YIG の透過率は $4\ \mu\text{m}$ で 76% であった。今回測定したセラミックサンプルの透過率は、短波長側では単結晶との差が大きいが、長波長側 $3\ \mu\text{m}$ から $4\ \mu\text{m}$ では単結晶の値に近づいている。

今後の焼結プロセスの最適化で、透過率の向上を目指す予定である。

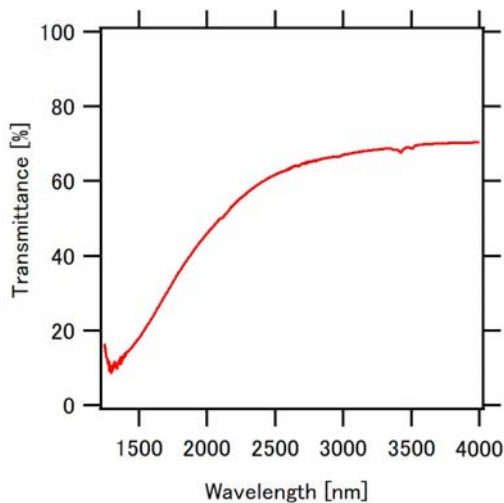


図 3 YIG セラミックスサンプル透過率

次に YIG セラミックスの磁気光学特性測定を行った。 $1.1\ \mu\text{m}$ から $1.6\ \mu\text{m}$ の波長範囲でヴェルデ定数の測定を行い、磁気光学特性の評価を行った。サンプルとして、透過率測定で用いた $\phi 10\text{mm}$ 、厚さ 0.5mm の YIG セラミックスサンプルと比較のため FZ 法で作成された YIG 単結晶を用いた。図 4 に測定結果を示す。赤丸プロットがセラミックスの値、青菱形プロットが単結晶の値である。測定範囲においてよい一致を示している。また YIG 単結晶の文献値を四角及び三角のプロットで示す。今回の測定は、セラミックス、単結晶ともに文献値とよく一致している。以上より、評価した YIG セラミックスは磁気光学特性の観点で単結晶と同等の性能を示すことが分かった。

今回の結果は、YIG セラミックスにおける初めての磁気光学特性の観測となる。フェリ

磁性を示すセラミックス材料としてもおそらく初めての観測結果であり、今後より詳細な検討を続ける予定である。

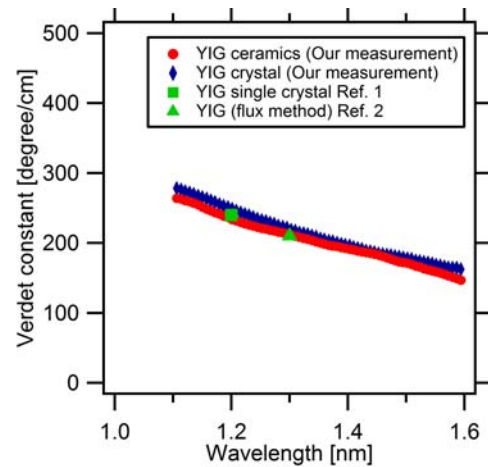


図 4 磁気光学特性測定結果

(Ref.1 Handbook of Laser Science and Technology, Vol. IV, Optical Materials, Part 2 (CRC Press, Boca Raton, FL, 1986), p. 287. Ref. 2 Booth, R. C. and White, E. A. D., J. Phys. D., 17, 579 (1984).)

本研究では、3次元の磁気フォトニック結晶構造が作成可能な、高出力レーザー用 YIG セラミックス材料の萌芽的な研究を行った。結果として、透明 YIG セラミックスを実現し、その磁気光学特性の計測に成功した。今後、YIG セラミックスの光学特性を向上させていくとともに、Ce 添加などを行い、レーザー加工による磁気フォトニック構造の検討を行う。これらを実現すれば、高出力レーザー用磁気光学デバイスの新たな展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Hiroaki Furuse and Ryo Yasuhara, "Magneto-optical characteristics of holmium oxide (Ho_2O_3) ceramics," Opt. Mater. Express 7, 827-833 (2017).
- ② Aleksey Starobor, Evgeniy Mironov, Ilya Snetkov, Oleg Palashov, Hiroaki Furuse, Shigeki Tokita, and Ryo Yasuhara, "Cryogenically cooled CeF_3 crystal as media for high-power magneto-optical devices," Opt. Lett. 42, 1864-1866 (2017).
- ③ Evgeniy A. Mironov, Aleksey V. Starobor, ,

Ilya L. Snetkov, , Oleg V. Palashov, , Hiroaki Furuse, , Shigeeki Tokita, Ryo Yasuhara, Thermo-optical and magneto-optical characteristics of CeF3 crystal Optical Materials, 69, 196–201, (2017).

- ④ Ryo Yasuhara, Ilya Snetkov, Aleksey Starobor, Evgeniy Mironov, and Oleg Palashov, "Faraday rotator based on TSAG crystal with <001> orientation," Opt. Express 24, 15486-15493 (2016)
- ⑤ Ondřej Slezák, Ryo Yasuhara, Antonio Lucianetti, and Tomáš Mocek, "Temperature-wavelength dependence of terbium gallium garnet ceramics Verdet constant," Opt. Mater. Express 6, 3683-3691 (2016).
- ⑥ Hiroaki Furuse, Ryo Yasuhara, Keijiro Hiraga, and Shengming Zhou, "High Verdet constant of Ti-doped terbium aluminum garnet (TAG) ceramics," Opt. Mater. Express 6, 191-196 (2016).

[学会発表] (計2件)

- ① R. Yasuhara, Magneto-Optic Transparent Ceramics for High Power NIR-MIR Laser Applications' Th-8-I-02 , 12th Laser Ceramics Symposium , 28th November - 2nd December 2016 in Saint-Louis, France (2016) (Invited).
- ② R. Yasuhara, "Magneto-optic transparent bulk ceramics for high power lasers", 11th Laser Ceramics Symposium:International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications Yunquan Hotel, Xuzhou, China 30 Nov.-04 Dec. (2015) (Invited).

6. 研究組織

(1) 安原 亮 (YASUHARA, Ryo)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
研究者番号：30394290