

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20440

研究課題名（和文）不揮発磁気光学デバイス実現に向けた光導波路を介した高速スピン制御手法の開発

研究課題名（英文）Study of fast spin control using waveguide for nonvolatile photonic devices

研究代表者

村井 俊哉（Toshiya, Murai）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究員

研究者番号：10963936

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では導波路を伝搬する光を介して超高速かつ低電力にスピンを制御する新たな手法を提案、その実証を目指し、狭い面積に強く光を閉じ込める光導波路を用いて実験的検証を進めた。まずは、磁化が光に影響を及ぼす磁気光学効果による光学特性の変化を調べ、伝搬方向に対応した共振波長の変化、磁気光学効果による非相対的な光伝搬特性の観測に成功した。続いて、実際にpump-probe法による光出力変化の時間応答を測定することで、ポンプ光により、逆ファラデー効果に基づく磁性ガーネットの磁化の変化、すなわち、光制御による光非相対的な応答の観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光集積回路の低消費電力化には不揮発光学素子が重要である。本研究は、磁化の不揮発性を利用した新規光素子の開拓を目指し、光導波路を介して超高速、低電力でスピン制御を可能にする逆ファラデー効果の観測に向けた実験を進め、その初期的観測に成功した。この手法に関する研究をさらに進めることで、不揮発磁気光学素子に加え、高速制御可能な光非相対性機能を含むこれまで実現できなかった新たな磁気光学デバイスを創出が可能になる。さらにはこの素子を組み込んだ光回路を利用した革新的な光演算の実現につながる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a novel method to yield effective magnetic field using lightwave guiding in a waveguide was proposed. First observation of nonreciprocal light propagation due to magneto-optical effect was succeeded. Then the pump-probe method was performed to investigate the effect of light-induced magnetic field, which is the inverse Faraday effect (IFE). In the result, nonreciprocal effect due to light-induced magnetic field via the IFE was experimentally observed in the silicon waveguide on the magneto-optical garnet.

研究分野：フォトンクス

キーワード：光集積回路 シリコンフォトンクス 磁気光学 磁気記録

1. 研究開始当初の背景

光集積回路の低消費電力化には不揮発光学素子の開発が重要である。光の透過により磁界を生成する逆ファラデー効果は、スピンの高速制御を可能にするが、数十 W 級の光パワーを必要とする課題がある。本研究では、磁化の不揮発性を利用した新たな光素子の開拓を目指し、導波路を伝搬する光を介して超高速かつ低電力でスピン制御を可能にする手法を提案、萌芽的な検証を行う。0.1 平方マイクロメートル未満の微小領域に光を閉じ込める光導波路を用いた逆ファラデー効果を世界で初めて実証し、必要な光パワーを mW レベルまで大幅に低減することを目指す。この手法は、不揮発磁気光学素子に加え、高速制御可能な光非相反性機能の実現をもたらす。これまでの PIC 上では実現することができなかった新たな磁気光学デバイスの創出を可能になる。

2. 研究の目的

光制御可能な導波路型不揮発磁気光学素子を実現するための初期的な検証として、0.1 μm^2 程度の狭い領域に強く光を閉じこめる導波路により微小光共振器を構成し、数 mW 程度の最小レベルの光パワーで逆ファラデー効果を観測することを研究目的とする。

3. 研究の方法

光導波路によりマイクロリング共振器(MRR)を構成、逆ファラデー効果により発生する有効磁界を観測し、新たな磁化の高速制御手法を立証する。

具体的には、磁性ガーネット Ce:YIG 上に a-Si 導波路で MRR(Fig. 1(a))を作製し、pump-probe 法を用いた時間領域の測定を行う。導波路に pump 光パルスを入射し、逆ファラデー効果により MRR 下の Ce:YIG 内に放射状の有効磁界を生成する。逆ファラデー効果による Ce:YIG の磁化反転に伴う微弱な probe 連続光の出力強度の変化を時間領域で観測する。pump 光の入力方向を変えることで MRR 内の有効磁界の向きが反転し、磁気光学効果により Ce:YIG の屈折率が変化する。その結果 MRR の共振波長が波長領域でシフトし probe 光強度も変わる。磁化による非相反的な光出力の変化を観測できれば、本研究で提案した手法を立証可能である。

4. 研究成果

原理検証用デバイスである Ce:YIG 上 a-Si 導波路 MRR に対して pump 光パルスを入力し、光と磁気の相互作用によるデバイス出力応答の変化を時間領域で観測することを目的として実験的検証を進めた。

最初のステップとしてまず、磁化が光に影響を及ぼす磁気光学効果による光学特性の変化を調べるため、CW 光に対するデバイス光応答の変化を測定した。集積された電磁コイルにより外部磁界を発生させ MRR 下の Ce:YIG を磁化した。続いて順方向、逆方向のそれぞれ異なる二つの方向から光を導波させた結果を Fig.1(b)に示す。その結果、伝搬方向に対応した共振波長の変化が観測され、磁気光学効果による非相反的な光伝搬特性の観測に成功した。

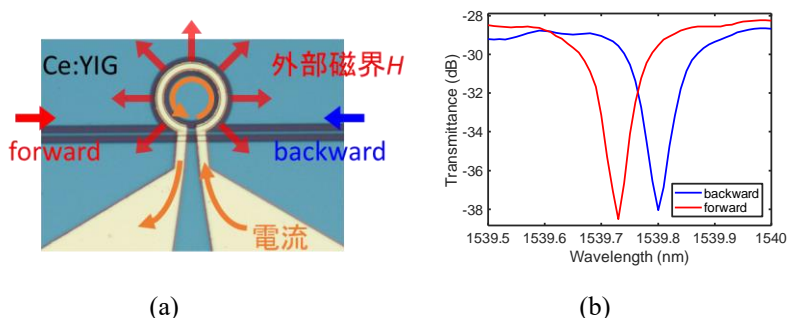


Fig.1. (a) a-Si リング共振器 on Ce:YIG 光学顕微鏡写真, (b).磁気光学効果による共振スペクトルの変化

続いて、ポンプ・プローブ法による光出力変化の時間応答を測定した(Fig.2(a))。このデバイスにピークパワー10 mW、パルス幅 400 ps のポンプ光を MRR に入力し、同時に CW プローブ光の出力変化を観測した。MRR の共振波長とプローブ光波長の対応関係は Fig.2 (b)のようになっている。Fig. 2(c), (d)に示す出力変化の時間応答の測定結果は、プローブ光の伝搬方向に応じて異なる共振波長特性を示した。そのため、ポンプ光に対するデバイスの応答には逆ファラデー

効果による磁化の変化を示唆している。今後は光励起によるキャリアや熱の影響を考慮した解析により、磁化の応答速度や大きさの定量的な評価を目指す。

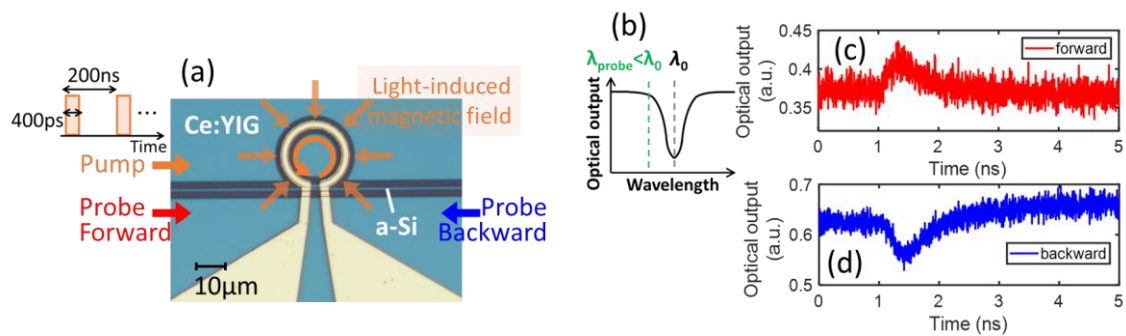


Fig. 2. (a) a-Si リング共振器 on Ce:YIG 光学顕微鏡写真と pump-probe 法による時間測定 (b) MRR の共振応答 (c) 順方向光入力に対する probe 光の時間応答 (d) 逆方向光入力に対する probe 光の時間応答

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Toshiya Murai, Rai Kou, Yuya Shoji, Koji Yamada
2. 発表標題 Experimental Observation of Inverse Faraday Effect using Silicon Waveguide on Magneto-optical Garnet
3. 学会等名 28th Microoptics Conference (MOC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村井 俊哉
2. 発表標題 磁気光学ガーネット上シリコン導波路を用いた逆ファラデー効果に関する初期検討
3. 学会等名 国際光デーシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村井 俊哉
2. 発表標題 磁性ガーネットにおけるシリコン光導波路を用いた逆ファラデー効果の検証
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村井 俊哉, 高 磊, 庄司 雄哉, 山田 浩治
2. 発表標題 磁気光学ガーネット上シリコン導波路を介した 逆ファラデー効果観測に向けた初期検討
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村井 俊哉, 高 磊, 庄司 雄哉, 山田 浩治
2. 発表標題 磁気光学ガーネット上シリコン導波路を介した逆ファラデー効果に関する検討
3. 学会等名 PDW2022
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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