

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05365

研究課題名（和文）超音速フリージェットPVD法を用いた磁性薄膜集積型光非相反素子の創成

研究課題名（英文）Optical nonreciprocal devices with magnetic thin films fabricated by supersonic free-jet PVD

研究代表者

横井 秀樹 (Hideki, Yokoi)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：90251636

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）： 任意の位置に任意の材料を直接成膜できる超音速フリージェットPVD法により、Si導波層上に磁性ガーネット薄膜を直接成膜して磁気光学導波路を製作した。設計に基づいてSiリブ導波路を製作し、クラッド層としてCe置換Y3Fe5O12 (Ce:YIG) を成膜して非相反移相効果を利用した光アイソレータを製作した。製作した磁気光学導波路に導波光学に基づいて光波を結合し、出力端における近視野像を観察したところ、光波が十分に閉じ込められて伝搬していることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光通信システムでは、光源に用いられる半導体レーザーの発振安定化のため、光非相反素子である光アイソレータが必要不可欠である。近赤外領域では、光アイソレータを構成するとき、使用波長域で透明であり、大きな磁気光学効果を示す磁性ガーネットが用いられる。磁気光学導波路製作に超音速フリージェットPVD法を採用することにより、Siなど他の光素子に用いられる材料を導波層とする光非相反素子を実現し、光通信システムの発展に寄与する。

研究成果の概要（英文）： Magneto-optic waveguides were fabricated by deposition of magnetic garnet films on Si waveguides. Magnetic garnet films were deposited by supersonic free-jet PVD method. An optical isolator employing a nonreciprocal phase shift was fabricated with a Ce-substituted yttrium iron garnet cladding layer on Si rib waveguides. It was confirmed that lightwaves were well confined in the magneto-optic waveguides by observing near field pattern at an output facet.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光非相反素子 超音速フリージェットPVD法 磁性ガーネット シリコン

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光通信システムでは、光源に用いられる半導体レーザの発振安定化のため、光アイソレータ等の光非相反素子は必要不可欠である。近赤外領域では、光非相反素子を構成するとき、この波長域で透明かつ磁気光学効果の大きな磁性ガーネットが用いられる。磁性ガーネットと半導体は結晶構造や格子定数が異なるため、これらの組み合わせでのエピタキシャル成長が望めず、半導体素子と光非相反素子の集積化は光集積回路実現の大きな足かせとなっている。

2. 研究の目的

磁気光学効果の一つである非相反移相効果は、磁気光学導波路の層構造を最適化することにより移相量を増強出来ることが、筆者らのグループにより示されている。特に、Si を導波層とする磁気光学導波路は、他の導波路形光素子との集積化の可能性もあり、大いに注目されている。

本研究では、基板の任意の位置に、任意の構造・膜厚の皮膜をパターン成膜することができる超音速フリージェット PVD 法を用いて、光アイソレータを構成する磁性ガーネット/Si/SiO₂ 構造を有する磁気光学導波路を実現すること、上記構造の磁気光学導波路を用いて光非相反素子を創成することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、図 1 に示す Si 導波層を有する光非相反素子の開発を目的として、まずは基板上に超音速フリージェット PVD 法を用いて磁性ガーネット薄膜を成膜し、薄膜の特性を評価する。次に、測定により得られた屈折率の値をもとに、非相反移相効果を用いた光非相反素子を設計する。設計に基づき光非相反素子を製作し、その特性を評価する。

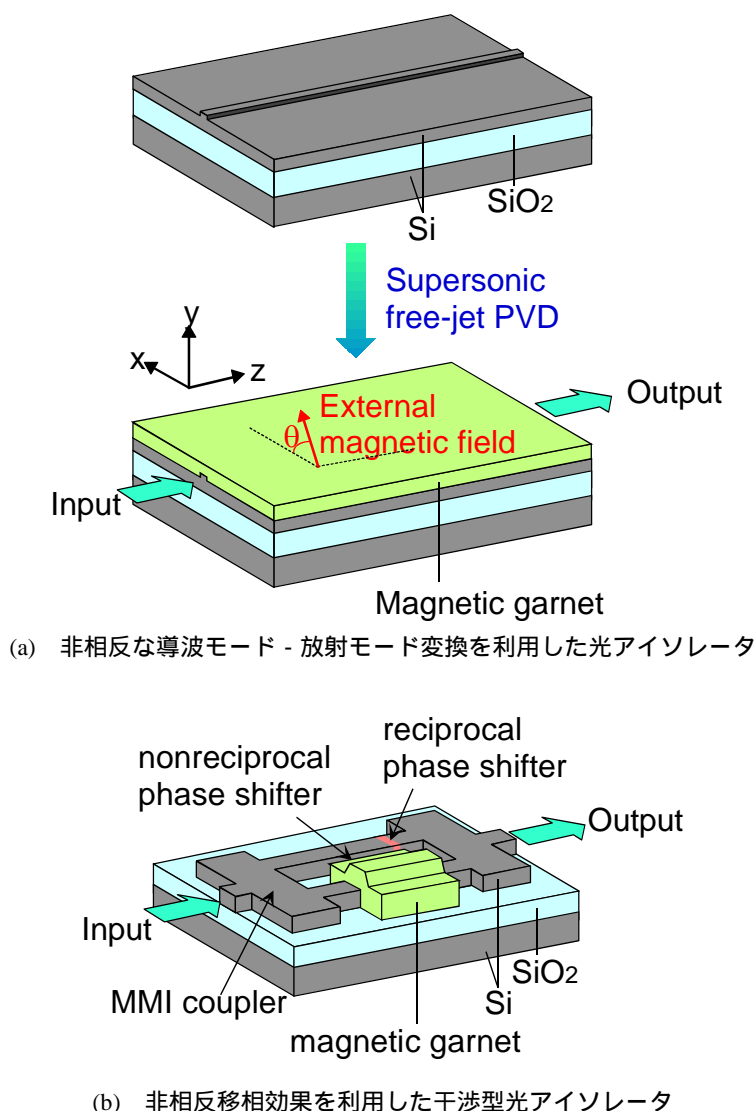


図 1 超音速フリージェット PVD 法により製作される磁気光学導波路を利用した光アイソレータ

4. 研究成果

(1) 超音速フリージェット PVD 法による磁性ガーネット薄膜の成膜

超音速フリージェット PVD 法により、 SiO_2 基板や Si 基板上への磁性ガーネット薄膜の成膜を行った。準備した Ce 置換 $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (Ce:YIG) ターゲットを用いて成膜を行い、走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡などにより表面を観察した。また、X 線回折により結晶性の評価、振動試料型磁力計により磁気特性の評価を行った。さらに、分光エリブソメータを用いて磁性ガーネット薄膜の屈折率、消衰係数を測定した。

(2) 非相反移相量の計算及び光アイソレータの設計

測定により得られた屈折率の値から、Ce:YIG/Si/SiO₂ 構造のスラブ導波路において非相反移相量が最大となる Si 膜厚を求めた。図 2 に示すように、Si 膜厚が 0.2 μm において非相反移相量が最大となることが分かる。次に、Si 導波層の厚さを 0.2 μm として、二種類の導波路構造の磁気光学導波路における非相反移相量を、摂動論を用いて計算した。図 3 (a) に示すように、SOI (Silicon On Insulator) 層に対してリブ構造を製作し、リブ導波路上全体に Ce:YIG 薄膜を成膜する導波路と、図 3 (b) に示すように、平坦な Si 層上に局所的に SiO₂ 膜を成膜し、SiO₂ 膜が堆積されていない部分へ Ce:YIG を成膜する導波路である。図 3 (b) に示す導波路の製作プロセスでは、Si、Ce:YIG どちらの媒質に対してもエッチングプロセスが不要である。これら二種類の導波路構造において、図 1 (a)、(b) に示す導波路型光アイソレータを設計した。図 1 (b) に示す干渉型光アイソレータでは、入出力端に光合分波器を採用しているので、MMI (Multi-Mode Interference) カプラなどの光合分波器を設計した。

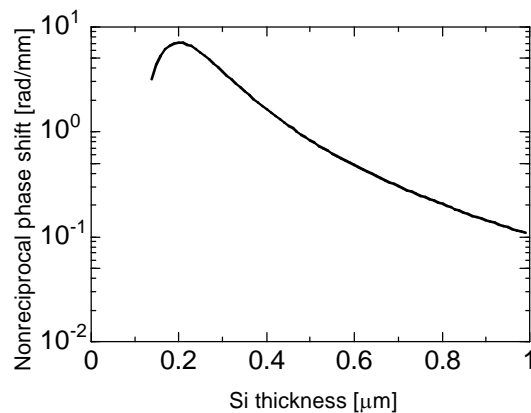


図 2 Si 膜厚に対する非相反移相量

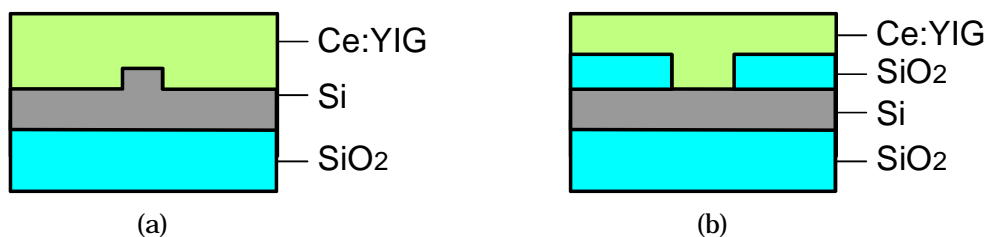


図 3 超音速フリージェット PVD 法により製作される磁気光学導波路

(3) 光アイソレータの製作

設計に基づき、図 3 (a) 及び図 3 (b) に示す導波路構造を有する磁気光学導波路を製作した。製作した磁気光学導波路に導波光学に基づいて光波を結合し、出力端における近視野像を観察したところ、光波が十分に閉じ込められて伝搬していることが確認できた。図 4 に、図 3 (a) で示す断面構造を有する磁気光学導波路から出射された光波の近視野像を示す。図 3 (b) に示す導波路構造の磁気光学導波路においても、同程度の光強度を有する出力光の近視野像が確認された。超音速フリージェット PVD 法により Si 導波路上に磁性ガーネット薄膜を成膜することで、光伝搬損失が低い磁気光学導波路が実現されることが明らかとなった。

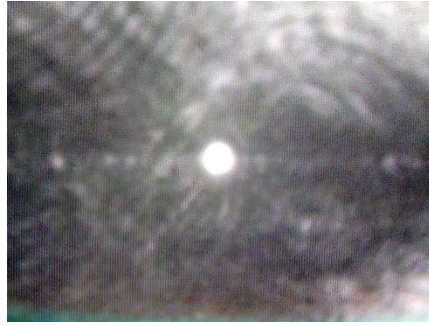


図4 磁気光学導波路からの近視野像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hideki Yokoi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Creation of magnetic thin film integrated optical non-reciprocal element using supersonic free jet PVD method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IngentaConnect	6. 最初と最後の頁 56-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21820/23987073.2022.1.56	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 T. Michino, A. Yumoto, H. Yokoi
2. 発表標題 Magneto-optic waveguides with Si guiding layer fabricated by supersonic free-jet PVD
3. 学会等名 Advances of Functional Materials Conference（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 道野司, 横井秀樹, 湯本敦史
2. 発表標題 超音速フリージェットPVD法によるSi導波層を有する磁気光学導波路の製作
3. 学会等名 第82回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川裕之、湯本敦史、横井秀樹、松崎真悟
2. 発表標題 超音速フリージェットPVDによるYIG膜の形成
3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsuzaki, A. Yumoto, H. Hasegawa, H. Yokoi
2. 発表標題 Magneto-optic waveguides fabricated by supersonic free-jet PVD for optical isolator with Si guiding layer
3. 学会等名 15th SEATUC symposium (国際学会)
4. 発表年 2021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	湯本 敦史 (Atsushi Yumoto) (20383987)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	

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