

令和元年6月21日現在

機関番号：52101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06003

研究課題名(和文)2次元磁性フォトニック結晶を用いた平面型光サーキュレータの形成とその特性

研究課題名(英文) Fabrication and Properties of Planer type Optical Circulator using two dimensional Magnetophotonic Crystals

研究代表者

弥生 宗男 (YAYOI, Kazuo)

茨城工業高等専門学校・国際創造工学科・准教授

研究者番号：90331983

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：シリコンフォトニクスは、光通信の高速化と高密度化に寄与する光集積回路を実現する技術として注目されている。光集積回路を実現するためには光スイッチなど様々な素子が必要となるが、光サーキュレータを実現する方法としてフォトニック結晶と磁性体を組み合わせた磁性フォトニック結晶を用いる手法を考案し、その実験的実証および特性評価を試みた。計算機シミュレーションにより、光集積回路で用いられるSOI基板に磁性フォトニック結晶を形成すると光学特性が大幅に変化し、光サーキュレータとして動作させるためには異なる構造での設計の必要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2次元磁性フォトニック結晶を用いた光サーキュレータに関する研究は非常に少なく、またシリコンフォトニクス技術と組み合わせた例はほとんど無い。本研究では実デバイスの形成まで至らなかったが、磁性フォトニック結晶を用いた平面型デバイスの設計に必要な光伝搬の特徴を見出すことができたことから、今後の光デバイス研究および光集積回路の実用化に寄与できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Silicon photonics attracts attention as a technique to realize optical integrated circuit contributing to speedup and densification of optical communication. Various elements including the light switch are necessary to realize optical integrated circuit. We contrived planer optical circulator using magnetophotonic crystal and tried experimental proof and characteristic evaluation. Optical properties largely changed when fabricated magnetophotonic crystal on SOI substrate. Therefore, the need of different structural design was suggested to operate as a optical circulator.

研究分野：磁気光学材料

キーワード：磁性フォトニック結晶 光サーキュレータ シリコンフォトニクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネット通信量の飛躍的な増大を支えるため、ハードウェア・ソフトウェアの両面から様々な技術の開発が行われている。特に、EDFA など光増幅と親和性の高い波長多重通信(WDM)技術は、ファイバー一本あたりの通信容量を飛躍的に増大させ、単一ファイバでテラビット級のデータ転送が可能になってきている。この WDM のキーコンポーネントに光分岐挿入装置(OADM)があり、光サーキュレータや光アイソレータが用いられている。WDM 通信装置の高機能化・小型化のためには、これらのキーコンポーネントを集積化し、高機能モジュールを構成することが不可欠である。

最近、光集積回路を実現する技術として、シリコンフォトニクス技術が注目されている。シリコンフォトニクスとは、光通信波長帯である近赤外域で透明となるシリコンを導波媒体に用いたプレーナ形光回路の形成技術である。近赤外域でのシリコンの屈折率が高いことから、シリコン導波路内に光が強く閉じ込められ、光回路を小型化することができ、半導体素子の加工技術を応用することで高精度な加工が可能である。

一方、光集積回路を構成する方法として、2次元フォトニック結晶(2D-PC)を用いた手法が提案されてきた。フォトニック結晶とは、誘電率の異なる複数の誘電体を光波長程度のスケールで周期的に配列した構造の人工結晶で、光子に対するエネルギーバンド(フォトニックバンド)構造が現れる。さらに、この周期構造の一部を乱すことにより、半導体の不純物準位に対応した「光局在モード」が現れ、光スイッチ等の光集積回路への応用が提案されている。

申請者はこれまでに、2種類の誘電体薄膜を交互に成膜したフォトニック結晶に、磁性ガーネットなどの磁性薄膜を挿入した「1次元磁性フォトニック結晶」について、理論解析とスパッタ法による作製を行ってきた。その結果、磁性薄膜に光が強く局在化し、単層の磁性薄膜に比べ10倍以上の大きな磁気光学効果を示す1次元磁性フォトニック結晶の作製に成功した。しかし、このような膜厚方向に周期構造をもつ1次元構造のフォトニック結晶では膜厚方向に光を伝搬させて使用するため、光導波路など一体化したプレーナ構造の光集積回路の実現は困難である。そのため、面内方向に伝搬する光に対してフォトニックバンドが形成されるよう、面内方向に周期構造をもつ2D-PCの形成が必要となる。さらに1次元構造から2次元構造へ高次元化することでより強く光が局在し、磁気光学効果が大きくエンハンスされると考えられる。2D-PCに磁性体を組み込んだデバイスはまだ実現されていないが、文献(Z. Wan, S. Fan, Applied Physics B 81, pp.369-375(2005))では理論計算により平面型光サーキュレータの構造が提案されている。このデバイスでは、挿入損失が0dBでかつアイソレーションが45dB得られており、また磁化の反転によりサーキュレーション方向が反転するなど興味深い特性が報告されている。しかし、この文献で提示されている構造は、磁化状態がデバイス内で一様でなく、また100nm程度の領域で磁区を反転状態にしているなど非常に複雑である。そのためこれを実際に形成し、原理実証に成功した報告は未だない。そこで申請者らは、シリコンフォトニクス技術を援用し、シリコンで形成した2次元フォトニック結晶に結晶欠陥として磁性体を埋め込んだ構造を考案し、光伝搬シミュレーションおよびデバイス形成を試みた。これらから、作製可能なレベルの構造であってもシミュレーションにより光サーキュレーションが生じることが確認できた。また豊橋技術科学大学の集束イオンビーム(FIB)装置を用いてSOIウェハ上にデバイス加工を行い、考案した構造が現実的に加工可能であることを確かめた。しかし、FIBによる加工はフォトリソマスクを使用しないことからプロトタイプ形成には適しているものの、スループットが高くないため量産には不向きである。

2. 研究の目的

本研究では、2次元磁性フォトニック結晶を用いた平面導波路型光サーキュレータの実験実証を行う。さらに、作製したデバイスの光導波特性を精密に測定し、平面光回路への応用の可能性を調査し、2次元磁性フォトニック結晶の特性を活かすことのできる光デバイスの開発を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では量産可能なレベルの形成プロセスにより、2次元磁性フォトニック結晶ベースの導波路型光サーキュレータを実現することを目指す。現在利用可能であるシリコンフォトニクス技術を用いて、光サーキュレータのベース構造を形成し、磁性体を埋め込んで動作検証を行うことで平面導波路型光サーキュレータの実験実証を行う。このために、有限要素法を用いた光伝搬シミュレーションにより、光通信波長領域において低損失かつ高アイソレーションとなるデバイス構造を探索する。また光ファイバを利用した平面型微小光デバイスの偏光分光測定系を構築し、作製する2次元フォトニック結晶光デバイスの導波特性および偏光特性を測定できる環境を整備する。これらを踏まえ、SOI(Silicon on Insulator)基板上にデバイスを形成して光導波特性やポート間アイソレーションおよび偏光依存性等の光学特性の評価を行う。

4. 研究成果

計算機シミュレーションによる構造設計においては、まずは資源が少なく済む2次元モデル計算を利用して、空孔の直径変化などフォトニック結晶の構造を僅かに変化させることによりアイソレーション30dB、挿入損失0.5dBの実用可能なレベルの特性を示す構造が実現できることを見出した。空孔の直径変化によりフォトニックバンドが波長シフトすることを利用し、デバイスの導波部分では透過バンドとなるように、その他の部分では禁制バンドとなるように

空孔径を変化させることで挿入損失および漏れ損失を低減することができた。これにより磁性体による複雑な構造を形成すること無く、シリコンフォトニクスを基本とした平面導波路型光サーキュレータを実現できると考えられる。この2次元モデル計算での知見を生かし、3次元モデルを用いて系統的に構造を変化させながら光伝搬シミュレーションを行った。3次元モデルはSOI基板にデバイスを形成することを想定し、デバイスの底面は二酸化シリコンと、デバイスの上面は真空と接しているモデルである。計算の結果、デバイス上下面の非対称性から2次元モデルに比べバンド構造が大きく変化し、サーキュレータとしての特性が大幅に低下することが判明した。これはデバイス厚を変化させても同様の傾向であり、SOI基板に形成すること自体が問題と考えられる。そのため、サーキュレータデバイス形成には別の方法をとる必要があると考えられる。

微小光デバイスの偏光分光測定系については、光源に近赤外光通信波長領域を網羅するスーパーコンティニュームレーザ、検出系にアクロマティック波長板による偏光分離と光スペクトラムアナライザを用い、レンズファイバにより試料に光を入射する測定系を構築した。デバイス損失が30dB程度までは測定可能であることを確認しており、通信波長域全域における光伝搬特性を測定可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

Kazuo Yayoi, Taichi Goto and Mitsuteru Inoue: "Numerical Analysis of the Structure to Reduce Loss of Optical Waveguide Circulator Using the Two-dimensional Magnetophotonic Crystal", Magnetics and Optics Research International Symposium 2015, 2015.11

Kazuo Yayoi, Taichi Goto, Hironaga Uchida and Mitsuteru Inoue: "Structure Design of Optical Waveguide Circulator Using Two-dimensional Magnetophotonic Crystal by Photonic Band Engineering", Magnetics and Optics Research International Symposium 2018, 2018.01

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。