

課題番号 : F-18-IT-0014
利用形態 : 技術代行
利用課題名(日本語) : シリコンフォトニクスを用いた光アイソレータとセンサに関する研究
Program Title (English) : Research on Integrable Optical Isolators and Sensors
利用者名(日本語) : 友野裕貴, 塩道溪, 星隼人, 清水大雅
Username (English) : Y. Tomono, K. Shiomichi, H. Hoshi, and H. Shimizu
所属名(日本語) : 東京農工大学 工学府 電気電子工学専攻
Affiliation (English) : Tokyo University of Agriculture and Technology
キーワード/Keyword : シリコンフォトニクス, 光アイソレータ, センサ, ダイシング, 切削, 研磨

1. 概要(Summary)

大きな屈折率差を利用して光閉じ込めが強く微小光導波路を実現できる Si 光導波路は強磁性薄膜と組み合わせることにより集積化型光アイソレータやセンサに応用することができる。本研究では SOI(Silicon on Insulator)基板上に Si 導波路光アイソレータ、スロット導波路リング共振器を設計・作製した。スロット導波路リング共振器の共振特性を評価した。センサ動作を検証するためにテストガスとしてドライエアと CO₂を用い、 3×10^2 nm/RIU のセンサ感度を実証した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

ダイシングソー

【実験方法】

SOI 基板に EB レジスト ZEP520A を塗布し、電子線描画により導波路パターンを形成した。スロット導波路リング共振器では場所によってパターン密度の異なり、一定のドーズ量で描画すると近接効果によってドーズ不足・過剰が生じる。近接効果を補正して導波路パターンを正確に作製することを目指して、GenISys 社のソフトウェア (BEAMER) を用いて近接効果を補正しドーズ量を変調したパターンで描画を行った。反応性イオンエッチング(CF₄/SF₆)により Si 層をエッチングした。本研究ではスロット導波路のセンサ応用を念頭に Si コア層上部のクラッド層は空気とした。作製したスロット導波路リング共振器の断面電子顕微鏡写真と光学顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したスロットリング共振器導波路をダイシングソーにて切断・へき開した。Fig.2(a)に最も Q 値が高かった

(1.6×10^4)リング共振器(結合器長 14 μm)の TE モードでの透過スペクトルを示す(波長ステップ 0.01 nm)。他の結合器長に関しても同様に測定し、共振特性が測定できた結合長 12、13、14 μm において共振特性における山谷比 (PVR)を計算し、結合器長を変数とし、結合係数、吸収係数をフィッティングにより求めたところ、それぞれ、 $0.070 \mu\text{m}^{-1}$ 、 $9.8 \times 10^{-4} \mu\text{m}^{-1}$ となった。結合係数(結合器長)と伝搬損失との組み合わせを適切に設定することで高 Q 値構造を実現できた。

センサ性能を評価するため、作製した結合器長 14 μm のスロット導波路リング共振器を用いて、CO₂ガスを吹きかけて共振測定を行った。測定サンプルの真上(間隔 1 cm)にガスが吹きかけられるようにガスチューブの位置を調整し、大気中で共振測定を連続 5 回行った後、CO₂ガスを流し、CO₂ガス中で共振測定を連続 5 回それぞれ測定することを 1 セットの測定として実験したところ、測定値が安定せず、CO₂ガス吹きかけによる共振波長のシフトは確認できなかったため、測定条件を以下①、②のように見直した。まず、①比較用ガスとしてドライエアを導入することとした。次に②ガスを流すチューブをサンプルから離れた位置(間隔 8 cm)に固定し、測定系全体を覆う簡易チャンバーを設置し測定した。チャンバー有無、ガス種を変更した場合において共振特性を測定し比較した。簡易チャンバーを設置し、CO₂ガスとドライエアを流した時の共振特性の測定結果を Fig. 2(b)に示す。CO₂ガスを流した場合に 0.04 nm の共振波長のシフトを確認した。設計から予測される理論値と比較すると共振波長のシフトは 50 ~ 60 %であった。2 種類のガスの屈折率 Air ($n = 1.00029$)、CO₂ガス ($n = 1.00044$) より、屈折率差は 1.5×10^{-4} であるため、センサ感度を計算すると、 3×10^2 nm/RIU と見積もられた。

一タの開発」 研究代表者:清水大雅

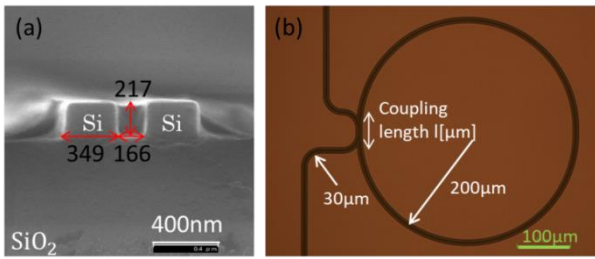


Fig. 1 (a) A cross sectional scanning electron microscope image, and (b) optical microscope image of Si slot waveguide ring resonator.

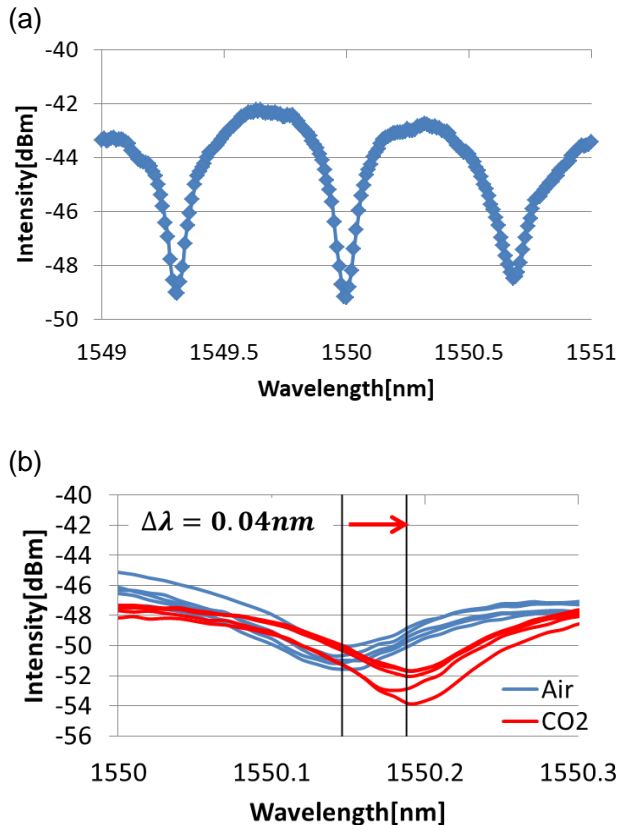


Fig. 2 (a) TE mode transmission spectra for the Si slot ring resonator under atmosphere. (b) Sensing characteristics of CO₂ by shift of transmission spectra under dry air (blue) and CO₂ atmosphere (red), near a resonance wavelength ~1550 nm.

4. その他・特記事項 (Others)

なし。

本研究に関わる競争的資金

科学研究費補助金 基盤研究(B) 課題番号 16H04346
「強磁性金属表面プラズモンを利用する革新的光アイソレ

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) Y. Tomono, and H. Shimizu “High Q Si Slot Waveguide Ring Resonators for Gas Sensing Application”, CLEO / QELS 2018 (Conference on Lasers and Electro-Optics / Quantum Electronics and Laser Science Conference 2018), 6a-C13-4, 平成 30 年 5 月 17 日.
- (2) 塩道溪, 下平貴大, 清水大雅 「強磁性金属・貴金属積層 Si プラズモン導波路における TE モード磁気光学性能指数の解析」2018 年応用物理学会秋季学術講演会 18a-212A-3, 平成 30 年 9 月 18 日.
- (3) 星 隼人, 友野 裕貴, 清水 大雅 「ガスセンサへの応用に向けた Si スロットリング共振器の感度向上に関する研究」2019 年春季 第 66 回 応用物理学関係連合講演会 11a-W331-2, 平成 31 年 3 月 11 日.

6. 関連特許 (Patent)

なし。