

課題番号 : F-17-IT-0008  
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 based on Si Photonics  
利用者名(日本語) : 浅野慎基, 友野裕貴, 星隼人, 清水大雅  
Username (English) : Y. Asano, Y. Tomono, 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、アモルファスシリコン、プラズマ CVD、成膜・膜堆積

## 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導波路光アイソレータを作製したり、Si 細線を狭い溝を挟んで並べたスロット導波路を作製することで集積化型光センサに応用することができる。Si 光導波路を作製するには結晶シリコン(c-Si)を用いた SOI(Silicon on Insulator)基板の利用が一般的である。一方、上記応用を含めた光導波路作製の目的に応じて Si コア層の膜厚を変えたり、アモルファスシリコン(a-Si)を製膜し、加工する必要がある。また電子回路と集積するには、回路の損傷を防ぐためにすべてのプロセスを 400°C 以下で行う必要があり、これまでプラズマ CVD 法により製膜した水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)をコアとした光導波路が多く報告されている。多くの場合、シランガス(SiH<sub>4</sub>)を原料としたプラズマ CVD 法により成膜されている。我々は電子ビーム蒸着法やスパッタリング法により a-Si を成膜し、高圧水蒸気熱処理[1]によりダングリングボンドを水素終端した a-Si:H 光導波路の作製を目指している。これまで a-Si:H 薄膜の吸収係数の波長依存性を評価し、反応性イオンエッチングにより加工した光導波路の光導波を確認したが、実効屈折率や伝搬損失の評価にいたっていない。本研究では a-Si 光導波路の評価に先立ち、c-Si リング共振器、a-Si:H リング共振器や c-Si スロット導波路リング共振器を作製し共振特性から実効屈折率と伝搬損失を評価し、センサ感度を検証した。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

プラズマ CVD 装置, ダイシングソー

### 【実験方法】

電子線描画と反応性イオンエッチングによりコア層厚 220 nm、幅 400 nm の c-Si リング共振器、a-Si:H リング共振器、および、コア幅 0.3 μm、スロット幅 0.2 μm のスロット導波路リング共振器を作製した。a-Si:H や SiO<sub>2</sub>の製膜ではプラズマ CVD 装置を利用した。c-Si リング共振器では TM モード光の分岐比が 1:9 となるよう、長さ  $l = 5 \mu\text{m}$ 、導波路間幅  $G = 200 \text{ nm}$  の方向性結合器にてリング共振器を構成した。導波路の屈折率  $n_{\text{eff}}$  を共振波長間隔  $\Delta\lambda (= \lambda^2/n_{\text{eff}})$  から求めるため、共振器長  $L$  を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm と変えた。曲げ半径は 70 μm とした。上部クラッドとして SiO<sub>2</sub>を 1.5 μm 以上堆積した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した c-Si リング共振器の出力光強度の波長依存性(入力光強度 0 dBm, TM モード)を Fig. 1 に示す。共振波長間隔の共振器長依存性より、実効屈折率  $n_{\text{eff}}$  は 2.86 と求められた。また、リング共振特性から結合係数  $\kappa$ 、伝搬損失  $\alpha$  を推定したところ  $\kappa = 0.38 \mu\text{m}^{-1}$ 、 $\alpha = 3.0 \text{ dB/mm}$  となった。現在、同種の評価を a-Si 導波路に適用し透過率を測定することで実効屈折率や伝搬損失を評価中である。

Fig. 2 に作製したスロット導波路リング共振器の透過スペクトル(TE モード)を示す。共振波長間隔から導波路の実効屈折率を推定したところ、スロット導波路では 1.28 (TE モード)、1.23 (TM モード)、細線導波路では 1.74 (TE モード)、1.90 (TM モード)となった。TE モード光を入力した際、スロット導波路では細線導波

路よりも実効屈折率の減少が確認されたため、スロットモードを励振することができたと考えている。得られた共振特性からスロット導波路の共振波長  $\lambda_0$ 、3 dB 半値幅 $\Delta\lambda$ はそれぞれ 1550.74 nm、0.13 nm (TE モード)、1550.74 nm、0.05 nm (TM モード)、と求まり、 $\lambda_0 / \Delta\lambda$  から求められる Q 値は TE モードで  $2.5 \times 10^4$ 、TM モードで  $3.6 \times 10^4$  と求められた。高い Q 値は共振波長の読み取りや共振波長近傍の光透過率の変化の測定による高感度検出に寄与する。今後、スロット導波路リング共振器構造の改善とガスセンサへの応用を目指す。

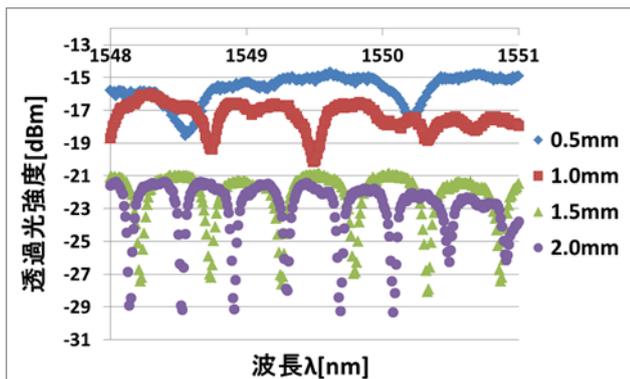


Fig. 1 TM mode transmission spectra for c-Si wire ring resonators with resonator lengths  $L = 0.5, 1.0, 1.5,$  and  $2.0$  mm.

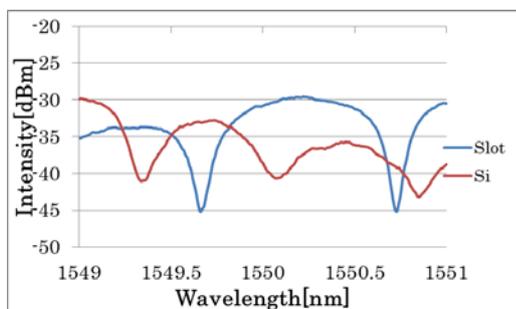


Fig. 2 TE mode transmission spectra for Si slot and Si wire ring resonators under atmosphere.

#### 4. その他・特記事項 (Others)

プラズマ CVD 装置による a-Si, SiO<sub>2</sub> の製膜では、ウェハ、小片基板の大きさ・形状の違いが製膜プロセスに与える影響についてアドバイスいただきました。アドバイスをいただきました東京工業大学の西山伸彦准教授に謝意を表します。

#### “参考文献”

[1] T. Sameshima et al., Jpn. J. Appl. Phys., 37,4254-4275 (1998).

#### 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ータの開発」 研究代表者:清水大雅

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) 清水 大雅 (依頼シンポジウム招待講演 異種材料融合技術で加速する集積光デバイスの新展開) 「シリコン・ガラス基板上への磁性ガーネットの製膜と集積光アイソレータへの応用」 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 CI-1-2, 平成 29 年 9 月 13 日.
- (2) 浅野 慎基, 星 隼人, 清水 大雅 「Si リング共振器の共振特性に基づく導波路の評価」2018 年春季 第 65 回 応用物理学関係連合講演会 18p-B201-8, 平成 30 年 3 月 18 日.
- (3) Yuki Tomono, and Hiromasa Shimizu “High Q Si Slot Waveguide Ring Resonators for Gas Sensing Application”, Conference on Lasers and Electro-Optics, May 17, 2018.

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし