

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：56101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06376

研究課題名(和文)超低損失プラズモニック波長選択素子を用いたハイブリッド光デバイスの開発

研究課題名(英文)Development of hybrid photonic devices using low loss plasmonic wavelength selective elements

研究代表者

岡本 浩行 (Okamoto, Hiroyuki)

阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・教授

研究者番号：60390506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、通信波長域におけるフォトニクスとプラズニクスを融合したハイブリッド光デバイスの開発を目的として実施した。ハイブリッド光デバイスにおける波長選択素子は非常に重要な素子であり、損失の低減が可能な波長選択素子構造について検討した。その結果、我々が考案したグレーティング構造部分において表面プラズモンポラリトンが伝搬しないブラッググレーティング構造を用いることで、これまでに報告されているプラズモニックブラッググレーティング構造と比較して大幅に損失を低減できる構造を提案・開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した超低損失プラズモニック波長選択素子を用いたハイブリッド光デバイスを通信デバイスなどに用いることで、デバイスサイズの大幅な微小化及び損失削減による低電力化などの効果が期待できる。さらには、低損失化によりデバイスからの発熱量を抑えることが可能となる。そのため、現在は発熱による対処方法としてデバイス使用時の冷却などが必要となっているが、本研究の成果のデバイスなどを用いることで冷却などに要する費用などの低減も可能となる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of our study is to develop a hybrid plasmonic device that combines photonics and plasmonics in the communication wavelength range. The wavelength selection element in a hybrid plasmonic device is a very important element. Therefore, we investigated the structure capable of reducing loss. We proposed and developed the structure that can significantly reduce the loss compared to previously reported plasmonic Bragg grating structures by using the Bragg grating structure in which the surface plasmon polariton does not propagate in the grating structure part.

研究分野：光デバイス

キーワード：プラズモニクス

1. 研究開始当初の背景

近年の通信トラフィックの急増に対応するため、ネットワークの大容量化が進められており、光を利用した波長多重通信システムなどが導入されている。しかし光の回折限界により光デバイスのサイズは光の波長程度に制限され、電子デバイスと比較すると桁違いに大きくなる。そのため光デバイスだけではシステムを構成できず、電子デバイスと組み合わせたシステムを利用しており、大容量化を実現するための課題となっている。光だけでシステムを構築することでさらなる大容量化が可能であるため、光エネルギーから変換可能で、回折限界のない表面プラズモンポラリトンを利用する方法が検討されている。しかし、これまでに報告された表面プラズモンポラリトンを利用する素子は損失が大きいことが問題となっており、実用には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、表面プラズモンポラリトンを利用したハイブリッド光デバイスの中でも様々なデバイスで利用される素子である表面プラズモンポラリトンの波長を選択できる素子について開発を行う。これまで報告された表面プラズモンポラリトンの波長選択素子は損失が大きく、挿入損失を半分程度に低減するための研究が進められている。本研究では、図1に示すように損失を低減するために我々が考案した構造である表面プラズモンポラリトンが伝搬しない底面に回折格子を作製する。表面プラズモンポラリトンはプラズモニック導波路の側面を伝搬するため、底面に回折格子を作製することで損失を大幅に低減できる。本研究は図1に示す表面プラズモンポラリトンの波長を選択できる素子を組み込んだハイブリッド光デバイスの開発を目的とする。

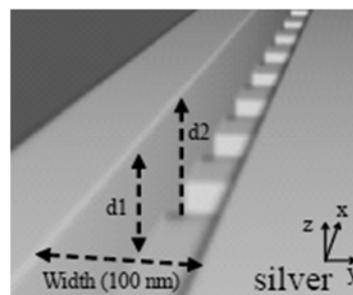


図1 作製する構造

3. 研究の方法

研究の方法として、まず図2に示すプラズモニックブラッググレーティング構造の設計を行った。通信波長域においてブラッググレーティングの特性を有する構造のパラメータを有限領域差分法により求め、作製する構造のパラメータを決定した。図3に設計を行った素子についての波長特性、図4にプラズモニックブラッググレーティングに、それぞれの波長を入力したときの電界強度分布を示す。

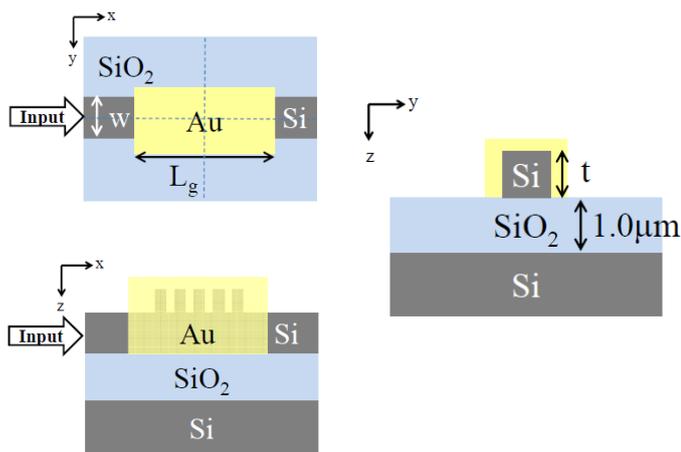


図2 プラズモニックブラッググレーティング構造

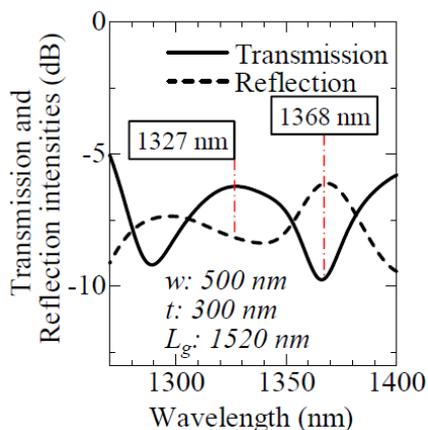


図3 設計した構造の波長特性

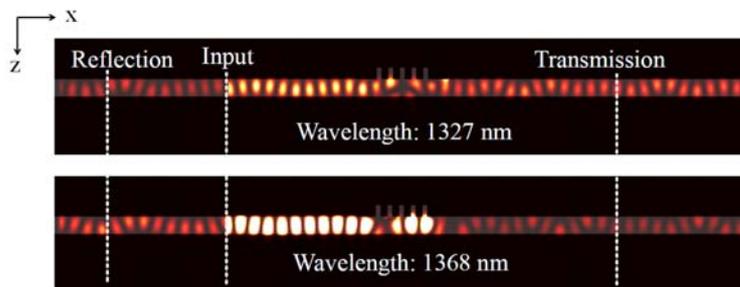


図4 それぞれの波長における電界強度分布

次に設計した構造の作製を行った。作製は電子ビームリソグラフィ技術を用いて作製した。図5に作製した構造を示す。作製した構造については、ブラッググレーティング構造ではなくプラズモニック導波路と通常の光導波路を融合したハイブリッドデバイスとした。

構造の作製後、図6に示すセットアップを用いて波長 1300 nm の光による評価を実施した。図7に表示時の光学顕微鏡像を示す。これにより、作製した構造において波長 1300 nm の出力ポートまで伝搬することが明らかになった。

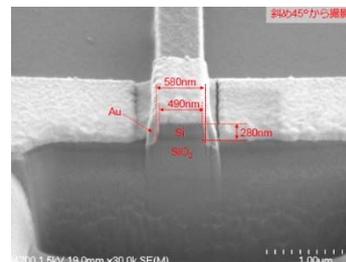


図5 電子ビームリソグラフィ技術により作製した構造

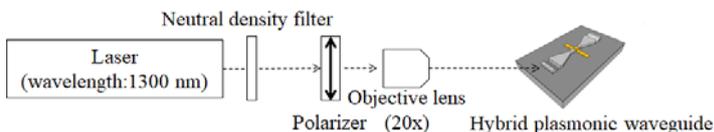


図6 評価に用いたセットアップ

4. 研究成果

本研究は表面プラズモンポラリトンの波長を選択できる素子を組み込んだハイブリッド光デバイスの開発を目的として、研究を実施した。研究開始当初は、波長選択素子としてプラズモニックブラッググレーティングを用いる予定であり、設計段階ではブラッググレーティング構造の設計を行った。しかし、構造の作製を開始したところ、現有している装置において電子ビームリソグラフィ技術を使ってブラッググレーティング構造を均一に作製することが難しいことが明らかになった。この問題に対して、様々な検討を行った結果、ブラッググレーティング構造を作製しない場合でもプラズモニック導波路の長さを制御することで、波長選択が可能であることが明らかになった。さらに、明らかになった構造を用いることで素子構造のサイズについてブラッググレーティングを用いるよりも大幅に低減可能であり、それに伴う損失の低減も可能であることが明らかになった。そのため、本研究では当初の計画であったブラッググレーティングではなく、設計の段階からプラズモニック導波路と通常の光導波路を融合したハイブリッドデバイスについて設計を行った。図8に波長 1300 nm の光が入射された場合の電界強度分布を示す。この結果より、ハイブリッド導波路の長さ (Lg) が 1000 nm の場合は素子を透過し、1600 nm の場合は反射することが明らかになった。

本研究の成果からはハイブリッド光回路にプラズモニックブラッググレーティングではなく、ハイブリッド導波路の長さを制御することを利用した波長選択の方法により、デバイスの微小化及び損失の低減が可能なハイブリッド光回路の開発が可能であることが明らかになった。本研究で明らかにした内容については、原著論文として国際論文誌に掲載されている。今後は、本研究の成果から設計した構造の作製及び評価を行い、ハイブリッド光回路に組み込んで本研究の当初の目的であった低損失のハイブリッド光回路の開発を進める予定である。

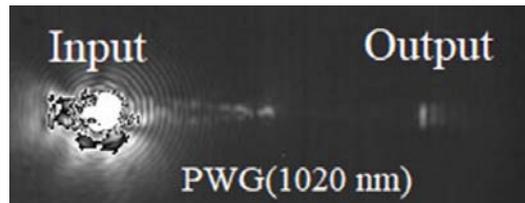


図7 評価時の光学顕微鏡像
(入射波長 1300 nm)

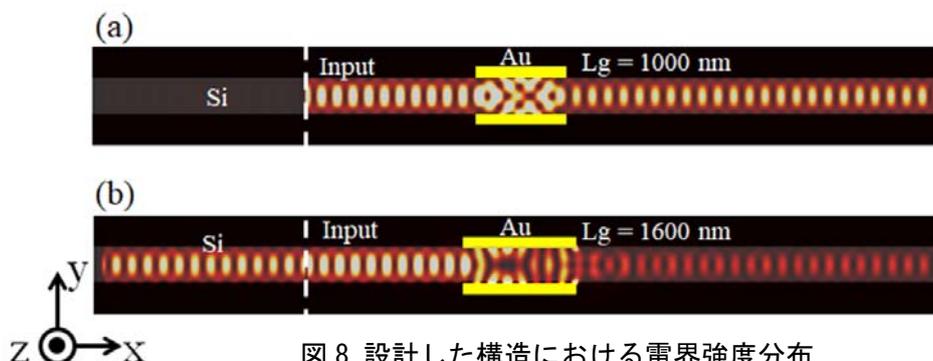


図8 設計した構造における電界強度分布

(a) Lg = 1000 nm, (b) Lg = 1600 nm

(入射波長 1300 nm)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Hiroyuki Okamoto; Kenzo Yamaguchi; Minoru Komatsu	4. 巻 12
2. 論文標題 Refractive index sensing at one wavelength via an active plasmonic device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 46011
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JNP.12.046011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto Hiroyuki, Kamada Shun, Haraguchi Masanobu, Okamoto Toshihiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Design of a hybrid plasmonic waveguide device using a trench structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 095022 ~ 095022
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2399-6528/abb985	査読の有無 有
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6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 岡本 浩行, 鎌田 隼, 原口 雅宣, 岡本 敏弘
2. 発表標題 トレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路の 伝搬特性評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Okamoto, Shun Kamada, Masanobu Haraguchi, Toshihiro Okamoto
2. 発表標題 Design of hybrid plasmonic waveguides using a trench structure
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本 浩行, 野田浩平, 坂本 盛嗣, 佐々木 友之, 小野 浩司
2. 発表標題 深層強化学習を利用したマルチレベル異方性回折格子の設計
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40 回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本 浩行, 鎌田 隼, 山口 堅三, 原口 雅宣, 岡本 敏弘
2. 発表標題 ハイブリッドプラズモニック ブラッググレーティング構造の開発
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Okamoto, Masanobu Haraguchi, Toshihiro Okamoto, Hiroshi Ono
2. 発表標題 Trench plasmonic waveguide filter incorporated with silicon waveguide
3. 学会等名 The 8th International Conference on Surface Plasmon Photonics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡本 浩行, 山口 堅三, 小松 実
2. 発表標題 アクティブプラズモニックデバイスを用いた屈折率計測
3. 学会等名 第78回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017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	原口 雅宣 (Haraguchi Masanobu) (20198906)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授 (16101)	

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