

ハイブリッドプラズモニック導波路を利用したハイブリッド光デバイスの開発

Development of Hybrid Devices using Hybrid Plasmonic Waveguides



岡本 浩行 (Hiroyuki OKAMOTO, Ph. D.)

阿南工業高等専門学校 創造技術工学科 教授

(Professor, Department of Creative Technology Engineering, National Institute of Technology, Anan College)

応用物理学会, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本教育工学会, 計測自動制御学会 他

研究専門分野: 光デバイス

あらまし

近年の通信トラフィックの急増に対応するため、光によるネットワークの大容量化が進められている。光デバイスのサイズは光の波長に制限されるため、光デバイスだけを利用して、電子デバイスの集積回路のような実用的なサイズの光集積回路を開発することは非常に困難である。そこで光エネルギーから変換可能で、波長などの制限のない表面プラズモンポラリトンを通信に利用する方法が検討されている。しかし、表面プラズモンポラリトンは損失が非常に大きく、表面プラズモンポラリトンのみでデバイスを構築することは難しい。これらの問題に対応するため、光と表面プラズモンポラリトンを組み合わせたハイブリッドデバイスが考えられている。

本研究では、光導波路とトレンチ型プラズモニック導波路を組み合わせたトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路を考案し、考案した構造を利用したハイブリッド光デバイス構造の評価を行い、その有用性を明らかにした。

1. 研究の目的

現在の通信トラフィックの増大に対応するために損失の低減が可能であり、デバイスの微小化が可能であるという特徴を有するハイブリッド光デバイスの開発は非常に重要である。本研究ではハイブリッドプラズモニック導波路として、光回路との親和性を高めるた

めに光導波路とトレンチ型プラズモニック導波路を組み合わせたトレンチ型のハイブリッドプラズモニック導波路を考案した。

本研究は、考案したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路を利用したハイブリッド光デバイスを開発することを目的とした。

2. 研究の背景

モノのインターネット(IoT: Internet of Things)やインターネットを利用した様々なサービスの提供など、インターネットは生活していく上で必要不可欠な存在となっている。そのため通信トラフィックは急激な増加の傾向を示しており、2019年5月時点での日本における総ダウンロードトラフィックは推定で12.1Tbpsとなっており、前年と比較すると17.5%増加している[1]。このような通信トラフィックの増加に対応するため、光によるネットワークの大容量化が進められている。しかし、光の回折限界により光デバイスのサイズは電子デバイスより非常に大きくなることから、光デバイスだけを利用して実用的なサイズの光集積デバイスを開発することは非常に困難である[2]。そこで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(SPPs: Surface Plasmon Polaritons)を通信に利用する方法が検討されている[3]。しかし、SPPsはオーム損失など損失が非常に大きいため、SPPsだけを利用してデバイスを構築することは難しい。これらの問題に対応するため、光とSPPsを組み合わせることで、それぞれの特徴である損失の低減が可能であることとサイズの微小化が可能であることを組み合わせて活用することが可能となり、損失を低減し、デバイスサイズの微小化が可能なハイブリッドデバイスが考えられている。既に損失を低減したハイブリッドプラズモニック導波路構造やハイブリッドプラズモニック導波路構造を利用したデバイスなどが報告されている[4,5]。デバイスの損失を低減するためには微小化が必要な部分にのみ、SPPsを用いることが重要である。

3. ハイブリッド光デバイスの開発

図1にトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波

ハイブリッドプラズモニック導波路を利用したハイブリッド光デバイスの開発

Development of Hybrid Devices using Hybrid Plasmonic Waveguides

路構造を示す。

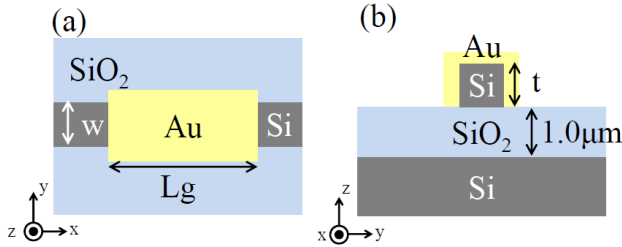


図 1 トレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路構造 (a) x-y 平面 (b) y-z 平面

図 1 (a)は x-y 平面から見た構造であり、図 1 (b)は y-z 平面から見た構造である。構造は SOI(Silicon on Insulator)基板上に作製したシリコン光導波路の一部を金で覆い、トレンチ型プラズモニック導波路とすることで、光導波路とプラズモニック導波路を組み合わせた構造とした。金で覆われたトレンチ型プラズモニック導波路ではシリコン光導波路を伝搬する光の一部が SPPs に結合し、光と SPPs が伝搬するハイブリッドプラズモニック導波路となる。シリコン光導波路の幅は 500 nm とした。

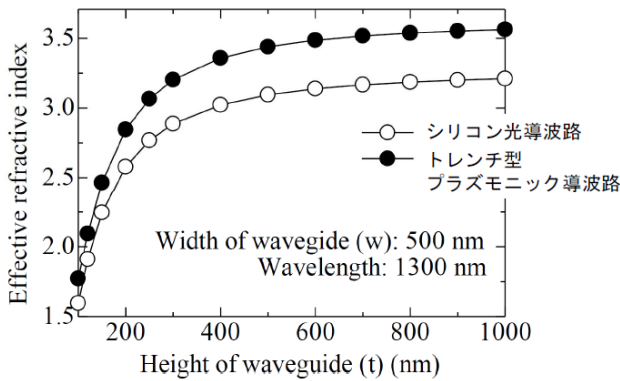


図 2 シリコン光導波路とトレンチ型プラズモニック導波路の高さ(t)を変更した場合の基本モードの実効屈折率(波長 1300 nm)

図 2 に光の波長が 1300 nm におけるシリコン光導波路とトレンチ型プラズモニック導波路の高さ(t)を変更した場合の基本モードの実効屈折率の変化の様子を示す。図 2 より導波路の高さ(t)をシリコン光導波路

とトレンチ型プラズモニック導波路が基本モードで伝搬可能な 300 nm とした。設計したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路について有限領域差分法を用いて評価を行った。

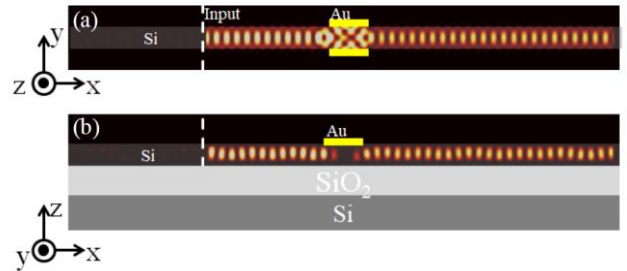


図 3 トレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路の電界強度分布(波長 1300 nm, Lg: 1000 nm) (a) x-y 平面, (b) x-z 平面

図 3 に有限領域差分法により評価を行った電界強度分布を示す。図 3(a)は x-y 平面からの見た電界強度分布であり、図 3(b)は x-z 平面から見た電界強度分布である。金で覆った部分の長さ (Lg) が 1000 nm のトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路においてシリコン光導波路を伝搬する光とトレンチ型プラズモニック導波路を伝搬する SPPs を確認できた。これより、設計した構造はトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路として動作することを明らかにできた。

次に設計したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路構造について電子ビームリソグラフィ技術を利用して作製を行った。

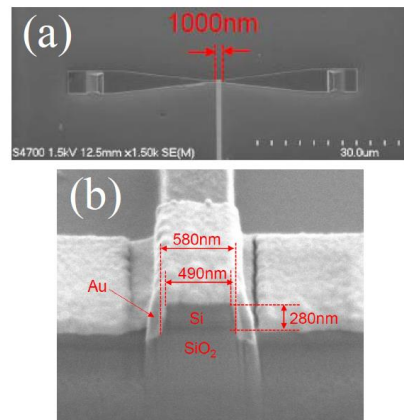


図 4 作製したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路構造 (a)全体像, (b) y-z 平面の切断面

ハイブリッドプラズモニック導波路を利用したハイブリッド光デバイスの開発

Development of Hybrid Devices using Hybrid Plasmonic Waveguides

図4に作製したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路構造を示す。図4(a)は構造の全体像を示す。図4(b)はトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路のy-z平面での切断面を示す。また、作製した構造の入出力ポートとしてテーパ構造を利用し、シリコン光導波路への入出力を行う構造とした。テーパ構造への入出力は垂直方向からの入出力が可能となるようにテーパの端に角度が45度のミラーを作製し、入射する場合は垂直方向からの光を反射してシリコン光導波路へ結合し、また出射光についてはシリコン光導波路から出射された光が垂直方向に反射され、確認できる構造とした。

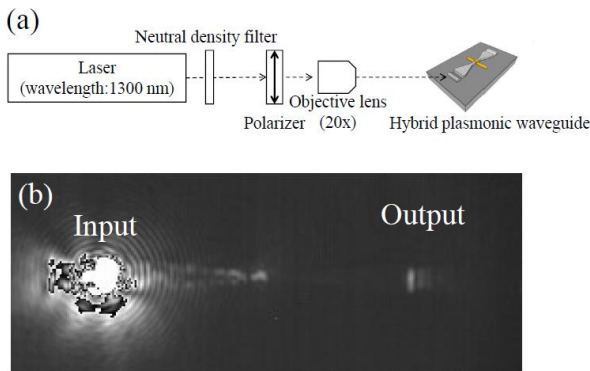


図5 (a) 評価に用いたセットアップ、(b) 波長 1300 nm の光を入射した時のトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路の光学顕微鏡像

作製した構造の評価を図5に示す。図5(a)に評価を行ったセットアップを示す。図5(b)は波長 1300 nm の光を入射した時の作製したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路の光学顕微鏡像を示す。図5(b)からトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路を伝搬した出力を出力ポートに確認できた。作製した構造はハイブリッドプラズモニック導波路として動作することを明らかにできた。

4. 将来展望

本研究で開発したトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路についてシリコン光導波路を金で覆う長さ L_g を制御することで、トレンチ型ハイブリッド

ラズモニック導波路を伝搬する光と SPPs の干渉の関係を変化することが可能であり、出力する光を制御することが可能であると考えられる。

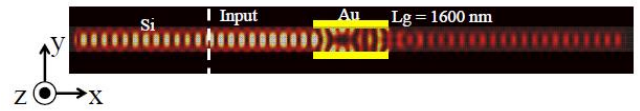


図6 トレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路の電界強度分布(波長 1300 nm, L_g : 1600 nm)

図6に L_g の長さを 1600 nm とした構造の有限領域差分法で求めた電界強度分布を示す。図3に示す L_g が 1000 nm の電界強度分布の結果と比較すると図6に示す出力光強度が低下していることが分かる。つまり L_g の長さを制御することで出力光の強度を制御できるハイブリッド光デバイス構造となることが明らかになった。本研究では、設計した構造について、実際に作製し、評価を行うことでハイブリッドプラズモニック導波路として動作することを確認できた。さらに L_g の長さを変えることでハイブリッド光デバイスとして機能することをシミュレーションでは確認できた。今後は L_g の長さを変えた構造を作製し、評価を行うことでハイブリッド光デバイスとして動作することの確認を行う。ハイブリッド光デバイスとして動作することを確認できれば、光と SPPs を組み合わせた集積回路への応用が考えられる。さらには光や表面プラズモンなどが利用されているセンシング分野における装置などの高精度化や微小化への応用が期待できる。

まとめ

本研究では、光導波路とトレンチ型プラズモニック導波路を組み合わせたトレンチ型ハイブリッドプラズモニック導波路について設計、作製、評価を行った。その結果、作製した構造はハイブリッドプラズモニック導波路として動作することを明らかにできた。また、シリコン光導波路を金で覆う部分の長さを制御することで出力光強度を制御できることをシミュレーションにより明らかにした。この構造を利用することで、ハイブリッド光デバイスの開発が可能になると考えられ

ハイブリッドプラズモニック導波路を利用したハイブリッド光デバイスの開発

Development of Hybrid Devices using Hybrid Plasmonic Waveguides

る。

今後は、本研究で開発したトレンチ型ハイブリッド光導波路を用いて、損失の低減が可能かつ微小化が可能なハイブリッド光デバイスの開発を進めたいと考えている。

参考文献

- [1] 総務省総合通信基盤局, 我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計結果 (2019年5月分), 2019年
- [2] H. A. Atwater, "The promise of PLASMONICS," *Sci. Am.*, Vol. 296, pp. 56-63 (2007).
- [3] 小野 真証, 納富 雅也, "プラズモニック導波路の光素子応用," *応用物理*, Vol. 88, No. 7, pp. 465-469 (2019).
- [4] M. Fukuda, Y. Tonooka, T. Inoue, and M. Ota, "Feasibility of plasmonic circuits for on-chip interconnects," *Solid State Electron.*, Vol. 156, pp. 33-40 (2019).
- [5] H. Okamoto and K. Kusaka, "Low Loss Plasmonic Bragg Gratings with a Trench Plasmonic Waveguide," *Plasmonics*, Vol. 12, pp. 1481-1485 (2017).

関連文献

H. Okamoto, K. Yamaguchi, and M. Komatsu, "Refractive index sensing at one wavelength via an active plasmonic device," *J. Nanophotonics*, Vol. 12, 046011 (2018).

この研究は、平成28年度SCAT研究助成の対象として採用され、平成29～令和元年度に実施されたものです。