

課題番号 :F-14-OS-0024  
利用形態 :機器利用  
利用課題名 (日本語) :プラズモニック導波路における光伝搬特性  
Program Title (English) :Optical Propagation Properties of Plasmonic Waveguides  
利用者名(日本語) :高原 淳一  
Username (English) :Junichi Takahara  
所属名(日本語) :大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻  
Affiliation (English) :Graduate School of Engineering, Osaka University

## 1. 概要 (Summary)

Moore の法則により続く集積回路の微細化トレンドは 2025 年ごろに物理的な限界に達するとされ、More than Moore の研究が盛んである。光インターコネクションは性能の飛躍的向上に高いポテンシャルを持つとされる。その中でもチップ内の光インターコネクションのためのナノオーダーのナノ光導波路が必要とされている。

プラズモニック導波路は表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton: SPP) を用いた光導波路であり、回折限界を超えるナノオーダー径の光ビームを伝送できるので、ナノ光導波路への応用が期待されている。我々は金属薄膜プラズモニック導波路に存在する SPP の伝搬モードのうち長距離伝搬モード (Long-Range Surface Plasmon mode: LRSP) について研究を行ってきた。

本課題はプラズモニック導波路の線幅を小さくしてナノ細線とした場合に LRSP の損失が低下する効果 (Super LRSP) の検証を目的とする。また、プラズモニック導波路の伝送損失の低減を目指して、導波路と半導体量子ドットとのハイブリッド系を用いた SPP 増幅器の基礎特性を調べた。

## 2. 実験 (Experimental)

### ・利用した主な装置

ナノ薄膜形成システム、集束イオンビーム装置

### ・実験方法

スラブ導波路を実際に作製し LRSP の伝送を実験的に試みた。はじめに SiO<sub>2</sub> 膜を堆積させた石英ガラス基板上に膜厚 30nm の銀薄膜を電子ビーム蒸着し、集束イオンビームを用いて導波路形に加工する。その後、インデックスマッチングポリマーを塗布して、Fig. 1 に示すような対称型スラブ導波路を作製した。構造は

同一置基板上に導波路長  $L$  と幅  $w$  を変えて多数作製した。SPP は非放射モードであり外部光と直接結合しないので、自由空間から導波路に光を入出力するためのカップラーとしてスリットアレイ (幅 630nm, 周期 1.26 $\mu$ m) を用いた。スリット幅と周期はシミュレーションにより最適化を行っている。

測定は光学顕微鏡下で半導体レーザー ( $\lambda_0=635$ nm) からのガウスビームを対物レンズ (50 倍, NA=0.55) により入力カップラーに集光し、SPP を励起させた。SPP 伝搬にともなう出力カップラーからの散乱光を同じ対物レンズによって観測した。入力カップラーでは強い後方散乱が起きるために  $L$  が短い場合は出力光が覆い隠されてしまう。そこで Fig.2(a)に示すようにクロス偏光法を利用して入射偏光と出力偏光を直交させ、入出力を分離した。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

線幅が十分大きい  $w=5\mu$ m の導波路 (Fig.1(a)) の長さを変化 ( $L=15\sim 60\mu$ m) させて出力光強度を観測し、プロットしたものを Fig.2(b)に示す。Fig.2(b)においてフィッティングから求めた伝搬距離は 43.0 $\mu$ m であり、この値は有限要素法の計算から求めた LRSP の伝搬距離の理論値 42.4 $\mu$ m と良く一致している。このことから LRSP が励起され、伝搬していることが確認できたといえる。

次に、Fig. 1(b)に示すようにスラブ導波路幅を波長以下  $w=200, 300, 500$ nm と変化させたナノ細線の出力光強度を観測した。その結果、線幅を小さくするほど出力光強度の増強がみられた。線幅が  $w<\lambda_0$  の領域になると両端の影響により LRSP よりは左右の SPP が結合した  $ss_0$  モードが支配的な領域となることがモード解析からわかっている。この結果は  $ss_0$  モードの伝搬距離が薄膜を伝搬する LRSP より長いことを示している。我々は

SSOモードを LRSP より低損失という意味で超長距離伝搬モード (Super LRSP) と名付けているが、Super LRSP の観測に成功したといえる。

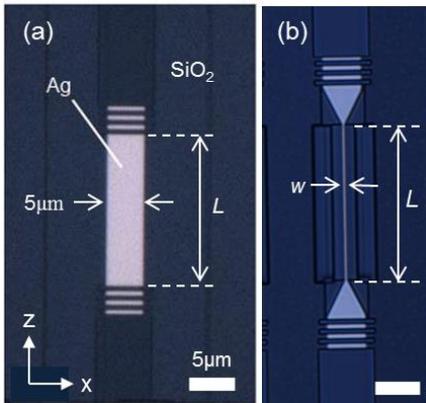


Fig.1 The optical microscope image of silver slab waveguide with  $w = 5 \mu\text{m}$  (a) and  $w = 200 \text{nm}$  (b). The dark and the blight part indicate  $\text{SiO}_2$  substrate and silver film, respectively.

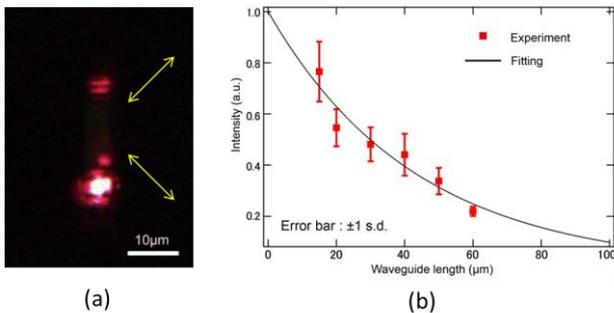


Fig. 2 (a) The optical microscope image of excitation, propagation along a slab waveguide and scattering from the output coupler. Arrows indicate polarization direction of the input and output. (b) Intensity of output versus  $L$  at  $\lambda_0=635\text{nm}$ : experimental results (red squares) and the exponential fitting (solid line). Error bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.

この他にも我々は銀薄膜構造上にアルミナ層を介して半導体量子ドット (CdSe/SnS) を堆積させる方法により、プラズモニック導波路と量子ドットとのハイブリッド系の構築に成功している。今回はこの技術を利用して LRSP の増幅実験を試みた。本手法は量子ドットをポリマー中に希釈した先行研究と比べて、量子ドットの密度が高いことが特徴である。実験の結果、

532nm のポンプ光の照射条件下でのみ 633nm の LRSP 信号が検出され、ポンプ光がない場合は損失のため信号は検出されなかった。このことから伝送損失の低減が観測されたといえる。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

なし

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

- 1) M. Higuchi *et al.*, Proceedings of SPIE 9163, 91632V-1-6 (2014).
- 2) M. Miyata *et al.* Opt. Express Vol. 22, No. 10, (2014) pp.11399-11406.
- 3) Tianji Liu and Junichi Takahara, Optics & Photonics Japan 2014, 6pP4, November 6, 2014.
- 4) 長崎裕介: 第 62 回応用物理学会春季学術講演会 13a-A12-5 平成 27 年 3 月 13 日.

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし