

課題番号	:F-15-OS-0015
利用形態	:機器利用
利用課題名 (日本語)	:ナノブリッジ型プラズモニック導波路における3次元光伝搬特性
Program Title (English)	:Three-Dimensional Propagation Properties of Surface Plasmon on Plasmonic Nanobridge
利用者名(日本語)	: <u>高原淳一</u>
Username (English)	: <u>Junichi Takahara</u>
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)	:Dep. Applied Physics, Grad. School of Eng., 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。我々はこれまで金属薄膜プラズモニック導波路を直線的に伝搬する SPP の伝搬モードについて研究を行ってきたが、今回は上下方向に曲がった導波路を作製する方法を開発した。

本課題はナノ光集積回路で必要とされる光配線の交差のため、立体交差したプラズモニック導波路について研究することを目的とする。ここでは、独自開発のピック&プレイス法 (pick & place method) によりナノブリッジや立体交差を作製し、SPP の伝搬特性について実験的に調べた。

2. 実験 (Experimental)

【利用した主な装置】

高精細電子線リソグラフィー装置

【実験方法】

立体交差をもつ2本の金スラブ導波路を実際に作製し SPP の伝送を実験的に試みた。はじめに ITO 膜を堆積させた SiO₂ 基板の上に、膜厚 150nm の金薄膜からピック&プレイス法で切り出した2本のスラブ導波路 (幅 500nm) を配置し、集束イオンビーム支援タングステン堆積を用いて基板の上に固定した。これにより Fig. 1 に示すような立体交差するプラズモニック導波路を作製することに成功した。

このとき交差角度は 60°、導波路間距離 g は約 1.3 μm である。SPP は非放射モードであり外部光と直接結合しないので、導波路端に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2本のスリット構造 (幅 350nm, スリット間距離 600nm) を形成している。スリット幅とスリット間の距離はシミュレーションにより結合効率の最適化を行った。

測定は光学顕微鏡下で半導体レーザー ($\lambda_0=635\text{nm}$) からのガウスビームを対物レンズ (100倍, NA=0.9) により入力カップラーに集光し、1つの導波路に SPP を励起して伝搬させている。

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。この実験では入力カップラーにおいて強い後方散乱が起きるために出力光が覆い隠されてしまう。そこでクロス偏光法を利用して入射偏光と出力偏光を直角させ、入出力を分離している。また、このとき交差導波路間のクロストークの有無を調べるため、同時に交差する導波路からの出力も観測した。

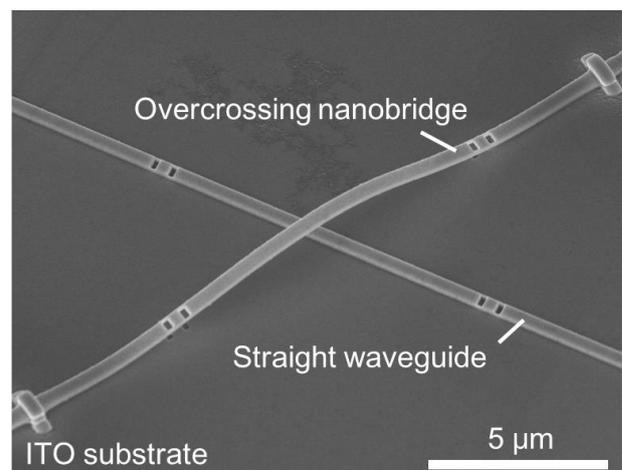


Fig.1 The SEM image of straight and overcrossing gold slab waveguides. Two slits are used for a coupler.

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 2 に光学顕微鏡下での測定結果を示す。いずれも

光を入射した導波路の出力側カップラーから光が出るが、それと交差する導波路の出力カップラーからは光が出ないことが観測された。これは g を SPP の電場の浸みだし距離以上に空間的に十分離して立体交差させることで、クロストークが抑制されることを示している。シミュレーションによると $g < 340\text{nm}$ にするとクロストークの影響が現れることが明らかになっている。これは SPP の浸みだし距離とほぼ一致し、本成果と矛盾しない。

本成果は将来のナノ光集積回路における光信号伝送において基礎となる知見を与えるといえる。

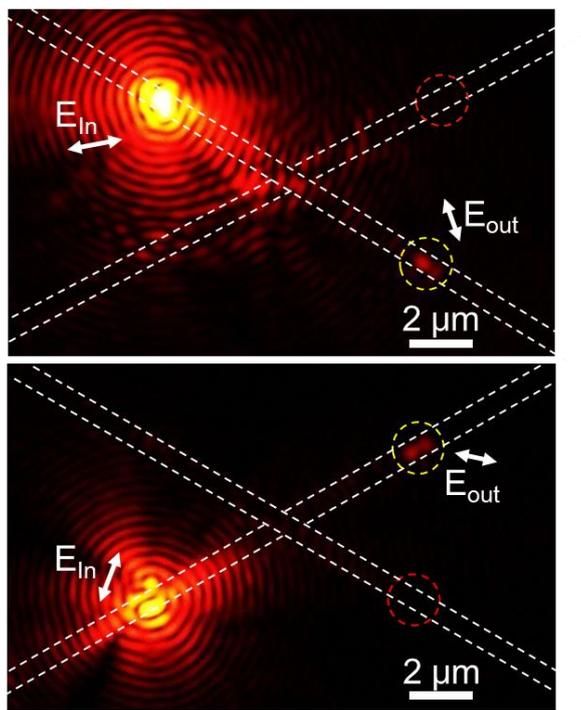


Fig.2 The microscope image of SPP propagation through straight and overcrossing gold slab waveguides. The light spots were observed at the output couplers.

4. その他・特記事項 (Others)

なし

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

【論文】

- 1) Y. Nagasaki, M. Miyata, M. Higuchi and J. Takahara, "Surface plasmon propagation on overcrossing metallic waveguides fabricated by a pick-and-place method", MRS Communications Vol. 5, No. 4, pp. 587-591 (2015).
- 2) M. Miyata, A. Holsteen, Y. Nagasaki, M.L. Brongersma, and J. Takahara, "Gap Plasmon Resonance in a Suspended Plasmonic Nanowire Coupled to a Metallic Substrate,"

Nano Letters 15, 5609–5616 (2015).

- 3) 高原淳一、宮田将司、樋口舞衣, "プラズモニック導波路における伝搬モードのコヒーレント制御" レーザー研究, 43(5), pp.265-269 (2015).

【学会発表】

- 1) A. Kaijima, M. Miyata, Y. Nagasaki, and J. Takahara, "Electromechanically Tunable Plasmonic Resonator", Asia Core Symposium: Nanophotonics in Asia 2015, POSTER27, Osaka, Dec. 10-11 (2015).
- 2) Y. Nagasaki, M. Miyata, M. Higuchi, and J. Takahara, "Surface plasmon propagation on overcrossing metallic waveguides fabricated by a pick-and-place Method", The 2nd International Symposium on Interactive Materials Science Cadet Program, PP-6, Osaka, Oct.(2015).
- 3) 貝嶋祥、宮田将司、長崎裕介、高原淳一, 「プラズモン共振器の電気機械的制御」、第76回応用物理学会秋季学術講演会 名古屋国際会議場 16a-2G-10 (2015).
- 4) 池田裕喜、宮田将司、高原淳一, 「ハロゲンランプ照射下の銀ナノ粒子におけるプラズモン共鳴のスペクトル変化」、第76回応用物理学会秋季学術講演会名古屋国際会議場 15a-2G-3 (2015).
- 5) Y. Nagasaki, M. Miyata and J. Takahara, "Surface Plasmon Guiding on Metallic Nano-Bridges", in Technical Digest of The 10th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO-10), Hakodate, Hokkaido, July 10, Contr6-2/ ST 13, p.34, (2015).
- 6) M. Miyata, J. Hirohata, Y. Nagasaki and J. Takahara, "Multi-spectral plasmon induced transparency via dipole and dual-quadrupole coupling", in Technical Digest of The 10th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO-10), Hakodate, Hokkaido, July 10, P2-9, p.114, (2015). (IAC Poster Award)

6. 関連特許 (Patent)

なし