

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560060

研究課題名(和文)プラズモニックMIMバンドエンハンサーを有するツイン導波路型光ナノプローブの検討

研究課題名(英文)Study of Twin Waveguiding Optical Probe with Plasmonic MIM Band Enhancer

研究代表者

押鐘 寧(Oshikane, Yasushi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40263206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：非対称な厚みの金属(M)/誘電体(I)/金属(M)構造(Asymmetric MIM structure)にナノ開孔対(Twin Nano-Hole)を設けたナノ構造を最先端部に有する光プローブの3次元FEMシミュレーションを行い、MIM構造やナノ開孔対において励起される表面プラズモンポラリトン(SPP)の検討をした。(1)Xeonサーバーでの3次元FEMモデルの設計・構築と計算、(2)ファイバ内を伝搬する光波長や偏光に依存したSPP電磁場の振舞い、(3)MIM構造やナノ開孔対形状に依存したSPP励起状態、(4)開孔対内部を局在しながら進むSPPの集光制御のための付加構造、などを検討した。

研究成果の概要(英文)：Three dimensional optical electromagnetic simulation of a circular truncated conical fiber with both asymmetric MIM structure and twin nano-hole at the apex of the fiber has been performed by COMSOL Multiphysics coupled with Wave Optics Module. The systematic calculation will give us valuable counsel for control of surface plasmon polaritons (SPPs) appearing around the MIM structure and twin nano-hole. (1) Optimal design of the 3D model for Xeon server and rational approach for the FEM analysis, (2) behavior of SPPs affected by wavelength and polarization of light in fiber, (3) change in excitation condition of SPPs caused by shape of the MIM structure and twin hole, and (4) effectiveness of additional nanostructures that are aimed at focusing control of localized SPPs located around the corner of nano-hole was studied.

研究分野：光応用計測，近接場光学，ナノフォトニクス，プラズモニクス，ナノ構造と光との相互作用に関する電磁場解析

キーワード：表面プラズモンポラリトン 集束イオンビーム加工 金属薄膜 有限要素法 金属-誘電体-金属構造
真空蒸着 伝搬モード解析 光導波路

1. 研究開始当初の背景

適当な複素屈折率を有する金属薄膜の表面には、プラズモン (Plasmon) を励起することができ、種々の分野で研究が盛んに行われています。プラズモンとは、電磁場を励起する圧縮波のことです [1][2]。外部から入射する電磁波と結合したプラズモン波は、表面プラズモン (+ポラリトン) (Surface Plasmon Polariton; SPP) と呼ばれます。この表面プラズモンは、金属薄膜表面に隣接する媒質の誘電率変化に対して敏感です。そのため、様々な (気体、液体、細胞、分子) の高感度センサーが研究開発されています [3][4]。電磁波によって SPP を励起するには、励起電磁波の波数が、SPP のそれに対応しなければなりません。これを実現する光学的配置としまして、クレツスマン (Kretschmann) 配置やオットー (Otto) 配置 [5] といった、金属薄膜を有するプリズムを用いる照明配置があります。プリズム内部から光が照射された金属表面にはエバネセント波という、表面にへばりついて進む波が生成され、条件が整うと、表面プラズモン共鳴 (Surface Plasmon Resonance; SPR) 現象が起こり、SPP が発生します。この励起方法では、ある程度の大きさを有するプリズムを使うために、同現象の検出機構やそれに伴う光学系の微細化がとも困難です。さらに照明光の、金属薄膜に対する入射角が 0 度の時には、既述の波数整合の条件を満たすことができません。SPR 現象は起こりません。こうした中、半導体デバイスでは SPR 現象を利用する金属-誘電体-金属 (Metal-Insulator-Metal; MIM) 構造の研究報告例があります [6]。この MIM 構造では、たった数十 nm の誘電体層を金属薄膜でサンドイッチするだけで、プリズムを用いずに、金属薄膜間のトンネル電流によって SPR 現象を誘起しています。この MIM 構造は、サイズ縮小に向けた構造ですが、各膜厚の制御が難しいという難点を持っています。結果として、製作が比較的容易な、厚み数百 nm 程度の誘電体層を有する MIM 構造の研究例が多く報告されており [7]、プリズムを使うこれまでの構造よりも簡単に、MIM 構造を有するセンサデバイスが実現されつつあります。しかし、これらの研究では、入射角 0 度に対応するような SPR 生成でありながら、その発生原理の学術的な検討は省かれてきました。

[1] E. N. Economou, "Surface Plasmons in Thin Films," *Physical Review*, Vol. 182, No. 2, pp. 539-554, 1969.

[2] Maier, S. A. "Plasmonics: The Promise of Highly Integrated Optical Devices," *IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics*, Vol. 12, No. 6, Part 2, pp. 1671-1677, 2006.

[3] R. Nuster, G. Pattauf, and P. Burgholzer, "Sensitivity of surface plasmon resonance sensors for the measurement of acoustic transients in liquids," in *proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 2006, pp. 768-771.

[4] T. Kan, K. Matsumoto and I. Shimoyama, "Nano-pillar structure for sensitivity enhancement of SPR sensor," *Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conf.*, 2009, pp. 1481-1484.

[5] Eric Le Ru and Pablo G. Etchegoin, "Principles of Surface Enhanced Raman Spectroscopy; and related plasmonic effects," *ELESEVIER*, pp. 149-174, 2008.

[6] T. Kusunoki, M. Sagawa, A. Ishizaka and K. Tsuji, "Emission Current Enhancement of MIM Cathodes by Optimizing the Tunneling Insulator Thickness," *IEEE trans. Electron Devices*, Vol. 49, No. 6, pp. 1059-1065, 1969.

[7] F. Villa, T. Lopez-Rios, and L. E. Regalado, "Electromagnetic modes in metal-insulator-metal structures," *The American Physical Society, Physical Review B*, Vol. 63, 165103, 2001.

2. 研究の目的

本申請では、そうした背景を持つ MIM 構造での SPR 現象に注目し、これを円錐台形状の光ファイバ先

端部分に精度良く構築し、誘電体層の厚みを数百 nm として、光ファイバ内を伝搬してくる励起光を使った、垂直入射に近い条件での SPR 現象の励起を試みます。この部分が、研究課題名におけます「プラズモニック MIM バンドエンハンサー」です。ある照明波長のみが MIM 構造内に SPR 現象を引き起こし、後述するように反射率が激減すると本研究では予測しております。反射が抑えられる光波は、誘電体層内において疑似ファブリペロー共振器構造としての閉じ込め効果の影響を受けた SPR へと変換され、強められると予測しています。ある波長または周波数「バンド」の増強素子「エンハンサー」として働くことを期待して、研究課題名に記載いたしました。金属の単層薄膜は、電子のトンネリング作用等で精力的に研究されてきています。MIM 構造の SPP は、半導体デバイス関連研究では、トンネル電流によって生成された SPP の放射脱励起による光の放射と関係づけて検討されてきました。今日、MIM 構造のダイオードが非対称モード放射脱励起によって光を放射することは十分に実証されています。また、MIM 構造内の非放射の SPP は ATRI によって研究されており、古くは Economou が、いくつかの構造における SPP の分散関係について研究しました。通常、単相薄膜における SPP の対称モードは、同じ波数ベクトルを持つ非対称モードよりも低いエネルギー (すなわち低周波) を持ちますが、MIM 構造では、逆の状況が生じます。波数 $k=0$ のときに、MIM 構造では、高周波 (対称) モードのプラズモン周波数が金属のプラズマ周波数に近くなり、低周波 (非対称) モードの周波数は 0 に近づきます。両者のエネルギー分離は、金属薄膜間のギャップが小さくなるほど増加します。最終的にギャップが消失してしまう状況では、対称な SPP モードはバルクプラズモンへと収束します。非対称なプラズモンモードでは、それぞれの金属層の電荷が対向する面の一番近い電荷とは逆の符号を持つこととなります。このため、金属薄膜間の微小ギャップには高い電界強度が発生します。非対称プラズモンモードの周波数は、ギャップサイズが小さくなるほど低下します。単層膜の対称プラズモンモードは非放射でありますが、MIM 構造での同じ波数の対称プラズモンモードは放射性となります。次に研究課題名の後半の「ツイン導波路型光ナノプローブ」について説明します。ツイン導波路とは、本課題におきましては、2 つの、非常に近接した開孔を指します。本研究では、既述の MIM 構造を、円錐台形状の光ファイバの先端に構築し、そのうちの厚い金属膜、すなわち光ファイバの最先端の金属薄膜の中央に、直径およそ 100~200 nm 程度の大きさの開孔を 2 つ、並べて製作します。この 2 開孔のツイン導波路は、2 つのコアが隣接した (コア同士のエバネセント波の相互作用で伝搬光を分岐する) 光ファイバコブラの構造に似ています。しかし、開孔サイズが光波長よりも小さいこと、光ファイバのクラッドに対応する部分が金属である点が大きく異なります。金属薄膜における 2 開孔構造では、申請者の基礎実験および 3 次元電磁場シミュレーションにおいて、開孔の並びに垂直な方向の偏光を有する光で照明されると、開孔同士が接近している部分、すなわち開孔同士を隔てている隔壁の薄い部分、にまとわりつくように、SPP が励起され、深さ方向に伝搬することが確認されています [8][9][10]。この SPP は、すでに研究・報告例がある、金属薄膜表面に設けた数 μm 以下のサイズの溝の中を伝搬するチャネルプラズモンポラリトン (Channel Plasmon Polariton; CPP) と似ています。しかし、2 つの開孔を隣接させたことで、それぞれの開孔内を伝搬する SPP が、開孔の終端 (=隔壁の終端) において、同相であることから結合し、一つの微小で高輝度な光源となり得ると考えています。この小さな高輝度光源が、いわゆる走査型近接場光学顕微鏡 (Scanning Near-field Optical Microscope; SNOM) における「光ナノプローブ」として良い性能を発揮すると期待しています。2 開孔構造で創成が気体される微小光源について、その高輝度化や単波長化、良好な偏光特性を実現しようとする場合、照明光源にレーザー光を用いればよいように思われますが、それでは、微小光

源の波長が限定されてしまいます。本研究では、光ファイバ内に、顕微鏡に付属の白色照明の光を入れるだけで、MIM構造が「プラズモニックMIMバンドエンハンサー」として働き、(1)設計した特定波長だけを吸収(透過)して金属薄膜と誘電体薄膜との界面に強いSPRを発生し、(2)2開孔構造によってMIM構造中のSPPを取り出し(流しの排水溝のように吸い出し)、(3)2開孔構造の隔壁周辺への集中、これにともなう増強、CPP特有の低損失伝搬を経て、開孔終端に(4)「ツイン導波路型光ナノプローブ」を形成することを目的としています。

[8] Y. Oshikane et al., 3rd Int'l. Sym. on Atomically Controlled Fabrication Technology, P-5 (2010).

[9] Y. Oshikane et al., Proceedings of SPIE Vol. 7757, doi: 10.1117/12.863587 (2010).

[10] Y. Oshikane et al., "Excitation, Propagation, and Focusing of Surface Plasmon Polaritons around A Pair of Subwavelength Holes on Silver Thin Film", COMSOL Conference 2010 Tokyo, A-4 (2010).

3. 研究の方法

平成24年度は、既存の電磁場シミュレーションソフトCOMSOL Multiphysics + RF Moduleを用いて、MIM構造における照射光のSPP励起への変換、特定波長、特定入射角での吸収機構についてシミュレーションを行ないます。COMSOLは、有限要素法ベースのソフトウェアなので、無限平面のMIM三層構造(基板とするスライドガラス層+空気層)について、照射光の入射面に対する対称性を考慮し、鏡面境界条件や周期境界条件を用いることで、3次元空間的に限定された立方体形状のモデルを構築し、各層の膜厚や、材質(光波長に依存した複素屈折率でモデル化)、照射光の波長(300~800nm程度)、照射光の入射角度(0~45度程度)、偏光方向(pまたはs)をパラメータとして、系統的にシミュレーションを進めてゆく予定です。既存のWindowsサーバーは、Xeon QuadCore x2(2.66GHz)を有し、72GBの物理メモリを備えていますので、計算精度を保証するメッシュサイズ(空間波長の1/10以下)でのモデル内の分割を考えた場合、およそ一辺が1.5 μm 程度の立方体モデルまで3次元電磁場シミュレーションが可能です。このことは、MIM構造の可視光領域での光およびSPPの振る舞いを解析するのに必要な計算資源と言えます。なお、計算パラメータに入射角を含めましたが、これは円錐台構造の光ファイバ先端(ϕ 数 μm を想定)において、先端の平面部分が、必ずしもファイバコア内を通過してやってくる照明光によって、垂直入射で照明されるとは限らないであろうと考えたからです。膜厚や材質については、一般的なSPP研究の報告例を参照することにより、第一層(直接、(ファイバコア内の伝搬孔で)照明される金属薄膜層)は約50nm程度の金や銀、第二層の誘電体層には、そもそも試作を現有の真空蒸着(抵抗加熱)装置で行なおうと思っておりますので、試作が比較的簡単なMgF₂やCaF₂、LiFを予定し、厚みは100~1000nm程度を予定しています。この厚みのレンジは、屈折率の実部を考慮した往復の光路長が照明光波長の整数倍に対応する条件が含まれるように決めています。MIM構造は、単なるフアブリベロー共振器のミニチュア版と思われるがちですが、誘電体層が狭いため、単純なFP共振器の特性とは異なると思っておりますが、念のため、定在波条件が含まれるように設定しています。第三層の金属薄膜層は、光ファイバ先端に位置するため、漏れ光が先端側へ出てくることの無いよう、一般の金属ミラー面と同様、200~300nm程度を考えています。一連のシミュレーションの結果の中から、例えば可視域の400nm、500nm、600nmといった照明波長において、SPP起因のバンド吸収機構が成り立つMIM構造パラメータを求めた段階で、その試作に着手してゆきます。通常、既述の蒸着材料はバスケットヒーターでの抵抗加熱による蒸着が可能な物性、および形状(ワイヤや顆粒)を有していますので、タングステンもしくはタンタルの

ヒーターを使い、スライドガラス上にMIM構造の試作を行ないます。現有の蒸着装置(JEE-420T)は、シャッタ付きで蒸着源を2つ、独立に稼働できますので、同じ金属膜で挟む場合であれば、真空のままMIM構造をある程度、試作できると思えます。また蒸着される膜厚のモニタは、数nm程度の誤差で行ないたいわけですが、現有の水晶振動子型の膜厚計(CMRT-5000)で実現できると思えます。蒸着源が変わることで生じる表示値の誤差は、実験結果の蓄積により、吸収・補正できると考えています。研究のキックオフ段階では、これらの装置でよいかと思いますが、共用装置であることや、MIM構造に異種金属層を組み込む場合や、真空度の高いクリーンな環境での成膜を目指しますので、初年度に申請いたします通り、専用の蒸着装置を設計、製作いたします。試作されるMIM構造の分光反射率特性は、現有の分光光度計(U-4000)の試料室内に、診断光の光路引き出し用の装置を自家製作して組み込むことで可能です。市販の分光エリプソメトリー装置の「照明機構+反射光の取り込み機構」について、U-4000の診断光を利用する簡易版を自家製作し、現有のLabVIEWによりコントロールして入射角を調整し自動計測します。U-4000は波長200~2000nmの診断光(波長幅0.1nm)を出射しますので、MIM構造の分光特性評価に十分な性能を有しています。

平成25年度以降

前年度のMIM構造の試作、評価の結果を電磁場シミュレーションへフィードバックしながら、良好な特性のMIM構造の、再現性の高い試作方法を確立してゆきます。もしも、抵抗加熱で本研究に十分な膜質が得られない場合には、現有の電子ビーム蒸着やスパッタ蒸着を試みる予定です。そして、光ファイバ先端に対して溶液エッチング(有機層とHF層との界面での表面張力による、自動的な先削りエッチング)による先鋭化加工を行い、現有の集束イオンビーム(FIB)加工装置(FB-2100)による円錐台加工と先端面の平坦化を実施し、MIM構造を載せる土台を築きます。光ファイバには、可視域の透過特性がよいSMファイバ(コア径5 μm 程度)を用いる予定です。濃度50%のHFを用いますが、現有の無機ドラフトチャンバを使い、危険無く実施できます。また、FIBでの平坦加工はイオンビームの走査痕が残る、十分な平坦度が得られない可能性もありますが、ビーム条件、走査条件、加工面へのイオンビームの入射角度などを最適化すれば、数nm程度以下の平坦度は実現できると考えています。ファイバ端の円錐台面上へMIM構造を構築します。最後に、既述のFIB装置にて2開孔構造をMIM構造の厚い方の金属薄膜上に作製し、誘電体層まで貫通させます。MIM構造、2開孔構造、ファイバ先端の完成度は、現有装置にてSEM観察(S-4800)、断面SEM観察を行い、チェックします。試作品として完成した「プラズモニックMIMバンドエンハンサーを有するツイン導波路型光ナノプローブ」について、白色照明光を入射し、微小光源生成の様子や光プローブとしての走査特性を、既存の微粒子プローブ型のSNOM装置で走査観察し検証します。研究成果をホームページや論文投稿などで公表するとともに、昨今メジャーとなってきたインターネットでの電子出版単行本などへ、章単位での研究総括の投稿を行なってゆきたい。

4. 研究成果

平成24年度：研究課題において重要な成膜プロセスの開発に従事した。まず、研究に必要で十分に性能を満たす有機蒸着装置を購入した。このため、早速にMIM(金属/誘電体/金属)構造の多層成膜プロセスと成膜特性の検討に着手した。当初、プラズモン共鳴を誘発する金属層(M層)として有望視している銀薄膜の成膜状態が思わしくなく、電磁場シミュレーションの予測に対応するプラズモン共鳴現象を誘起することができなかった。しかし、(1)水晶振動子式膜厚計による成膜プロセス中のリアルタイムな膜厚モニタリングシステムの導入、(2)蒸着速度を一般的な速度の100倍程度

である10nm/s程度まであげた試作実験と膜質の走査電子顕微鏡観察・評価、(3)膜厚と蒸着速度のパソコン制御による自動化とそれに伴う高真空下(大気開放無し)での多層成膜プロセスの実現、を実施することにより、銀薄膜については残留ガスによる酸化を最小限に抑えた、平坦度および結晶性のより多結晶薄膜を作成することができた。また誘電体薄膜(I層)については、蒸着が容易とされるフッ化カルシウムを材料として試作を始めたが、試行の結果、充填度の低い膜(密度の低い膜)が形成されることが分かり、膜厚や光学特性の制御が非常に困難であったため、研究進行速度を下げないために、材料をフッ化マグネシウムへ変更した。この結果、充填度がほぼ100%で平坦度や光学特性も良好な誘電体層としての成膜を実現できた。以上より、膜質、膜厚ともに良好なMIM構造の試作に成功し、分光反射率特性も、電磁場シミュレーション結果に良く対応する結果が得られるようになった。そこでI層の厚みを変えた試作実験を行ない、反射率カーブにおける吸収dipの波長シフトを再現性良く観測することができ、これに対応したI層内の光の溜め込みについて、最表層のM層にFIB加工にて200nm四方の開孔を設け、その発光色より確認できた。

平成25年度：プローブ試作については、中古の成膜モニタの更新を行い、研究初年度に購入し使用してきている成膜システムへの設置を行った。そしてパソコン通信によるモニタの制御を可能とした。その結果、同システムへ試料をセットすると、各層が任意の厚みを有する多層膜構造を自動で成膜できるようになり、ガラス基板や光ファイバ先端への非対称金属/誘電体/金属MIM構造の再現性のよい自動作製が可能となった。また、試作に取り掛かっているとはいえ、本研究が目指すMIMプローブ周りの電磁場の振る舞いは未知であるため、その電磁場伝搬に関する物理現象の解明にむけて、有限要素法ベースの2、3次元電磁場シミュレーションのモデル構築に努めた。このシミュレーションでは大別して2種類の解析を行った。1つはファイバ先端に構築する非対称MIM構造における導波モード解析であり、2つめは、ファイバ先端を取り囲む空気層、MIM構造を構築する基板となる光ファイバ先端の円錐台形状のガラス層も含めて、より現実に即したIMIMI構造の3次元電磁場解析を開始した。導波モード解析では、IMIMI構造の導波特性を示す分散関係図を描き、その特徴について理解を進めることができた。そして、表面プラズモンポラリトン(SPP)の励起機構の基礎を理解することができ、プローブとして利用すべきMIM構造内の伝搬モードを選択する指針を得ることができた。3次元解析では、実験と同様のシングルモード光ファイバ内を伝搬して行く導波モードを求めて、円錐台形状のモデル底面から同モードにて光を入射させるモデル構築に成功し、3次元解析の導入部分の作業を完了した。しかし計算量が非常に多く、ワークステーションに於いてページングファイル処理にて計算を実施しているが、膨大な計算時間を要し、HDDドライブの急速劣化が危ぶまれるため、さらなる解析に向けてH26年度は物理RAMの増設を行う。

平成26年度：有限非対称MIM構造とナノ開孔対を有する光プローブ先端部分について、光電磁場のFEM解析を行いました。光ファイバ内のSM伝搬光も含めたプローブ先端のモデル化ができ、励起波長に応じてナノ開孔対に起因するSPP励起、伝搬、集中現象を3次元シミュレーションすることができるようになりました。また、2次元伝搬モード解析では、プローブ先端のMIM構造の最表面に位置するM層について、ナノ開孔対に伴うSPPの励起、集中、伝搬に適した開孔形状、励起波長を検討するための伝搬解を求めることができ、MIM光プローブ設計におけるためのFEM解析の有効性、方向性を示すことができました。今後も、実際の加工を見据えながら、設計を進めると共に、光プローブとしての試料走査特性(試料表面の接近に伴う反射光、透過光、散乱光の変化)も調べてゆきます。ナノ開孔対の形状については、もう少し最適化できると考えており、また実

加工で発生する開孔のエッジ各部の丸みも考慮してゆきます。さらにM層表面すなわちナノ開孔対終端部の3次元形状を最適化することで、開孔対→2つに別れて発生しがちなSPP由来のダブル点光源を隔壁端部(の延長線上)に集約してシングル点光源を創成する構造を模索したいと思っております。またM層材料としての薄膜(プラズモン)材料について、金属窒化物(例:窒化チタン=TiN)の可能性を探り、MIM構造に組み込む成膜基礎実験や電磁場シミュレーションにも着手したいと考えています。金属材料ではAgがプラズモン材料として一番優れていますが、TiNなどを検討しようとする理由は、(1)可視光領域で誘電率の実部が負になるプラズモン材料であること、(2)高い耐腐食性、耐摩耗性、膜の硬度がプローブ先端に適当、といった理由です。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

①押鐘寧、村井健介、金属/誘電体多層膜(MIM構造)による機能性・光フィルタ、光アライアンス、査読有、24巻、2013、pp. 46-51.

②Yasushi Oshikane, Kensuke Murai, Takaya Higashi, Fumihiko Yamamoto, Motohiro Nakano, Haruyuki Inoue, Plasmonic active spectral filter in VIS- NIR region using metal- insulator- metal (MIM) structure on glass plate, 12 pages, Proc. SPIE 8463, Nanoengineering: Fabrication, Properties, Optics, and Devices IX, 846303 (15 October 2012); doi: 10.1117/12.929201, 査読有.

③Yasushi Oshikane et al., Extracting and focusing of surface plasmon polaritons inside finite asymmetric metal/insulator/ metal structure at apex of optical fiber by subwavelength holes, 10 pages, Proc. SPIE 8809, Plasmonics: Metallic Nanostructures and Their Optical Properties XI, 880919 (18 September 2013); doi: 10.1117/12.2023833, 査読有.

④Kensuke Murai et al., Design and fabrication of active spectral filter with metal- insulator- metal structure for visible light communication, 10 pages, Proc. SPIE 8632, Photonic and Phononic Properties of Engineered Nanostructures III, 863223 (21 February 2013); doi: 10.1117/12.2003637, 査読有.

⑤Kensuke Murai et al., Fabrication and evaluation of active spectral filter with metal- insulator- metal structure for visible light communication, 9 pages, Proc. SPIE 8994, Photonic and Phononic Properties of Engineered Nanostructures IV, 89941T (19 February 2014); doi: 10.1117/12.2038250, 査読有.

⑥Yasushi Oshikane, Kensuke Murai, Motohiro Nakano, 3D- FEM analysis of SPP excitation through nanoholes in asymmetric metal- insulator- metal structure at tip of circular truncated conical fiber, 7 pages, Proc. SPIE 9163, Plasmonics: Metallic Nanostructures and Their Optical Properties XII, 916317 (10 September 2014); doi: 10.1117/12.2060641, 査読有.

[学会発表] (計9件)

①Yasushi Oshikane, Kensuke Murai, Takaya Higashi, Fumihiko Yamamoto, Motohiro Nakano, Haruyuki Inoue, Plasmonic active spectral filter in VIS- NIR region using metal- insulator- metal (MIM) structure on glass plate, SPIE Optics+Photonics 2012, Aug.12-16, San Diego, USA.

②押鐘寧、村井健介、東孝哉、山本史彦、中野元博、井上晴行、MIM構造におけるPlasmonic効果の可視光通信フィルタや近接場プローブへの応用に於いて、第10回 プラズモニクスシンポジウム、H25.1.25-26、神戸大学六甲台キャンパス.

③押鐘寧, 東孝哉, 山本史彦, 村井健介, 井上晴行, 中野元博, 金属-誘電体-金属構造における表面プラズモン共鳴を利用した可視域アクティブフィルタの開発, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会, H24.9.14-17, 九州工業大学.

③押鐘寧ほか, ガラス表面の金属/誘電体/金属(MIM)構造内部における表面プラズモンポラリトン(SPP)の励起と導波, 2013年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2013.9.12-14, 関西大学 千里山キャンパス.

④押鐘寧, 円錐台形状の光ファイバ先端に設けた非対称金属/誘電体/金属構造+サブ波長サイズ開孔構造とファイバ伝播光との相互作用, COMSOL Conference Tokyo 2013, 2013.12.6, 秋葉原UDX.

⑤押鐘寧, 村井健介, 中野元博, MIM構造とナノ開孔対を有する円錐台形状の光ファイバ先端における電磁場伝搬の解析 - 有限要素解析による3次元電磁場と伝搬モードの診断 -, 2014年度精密工学会 秋季大会 学術講演会, 2014.9.16, 鳥取大学 鳥取キャンパス.

⑥押鐘寧, 服部航, 中野元博, 村井健介, ナノ構造を有する光ファイバ先端部の光電磁場集中・伝搬に関する有限要素解析, 精密工学会 2014年度関西西地方学術講演会, 2014.7.4, 近畿大学 東大阪キャンパス.

⑦Yasushi Oshikane, Motohiro Nakano, Kensuke Murai, Three Dimensional Electromagnetic Simulation of SPP Control at Apex of Circular Truncated Conical Fiber with MIM/Twin Nano-Hole Structure, COMSOL Conference Tokyo 2014, 2014.12.4, 秋葉原UDX.

⑧Yasushi Oshikane et al., Extracting and focusing of surface plasmon polaritons inside finite asymmetric metal/insulator/metal structure at apex of optical fiber by subwavelength holes, SPIE Optics+Photonics 2013, 2013.8.28, San Diego, USA.

⑨Yasushi Oshikane, Kensuke Murai, Motohiro Nakano, 3D-FEM analysis of SPP excitation through nanoholes in asymmetric metal-insulator-metal structure at tip of circular truncated conical fiber, SPIE Optics+Photonics 2014, 2014.8.20, San Diego, USA.

[図書] (計2件)

①押鐘寧, 村井健介, 技術情報協会, 光学薄膜の最適設計・成膜技術と膜厚・膜質・光学特性の制御, 2013, pp.855-864.

②押鐘寧, 大阪大学出版会, 超精密加工と表面科学 - 原子レベルの生産技術 -, 分担執筆, p237-252, 355-376, 2014.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

http://www-qm.prec.eng.osaka-u.ac.jp/QMI/top_page.html

http://www-qm.prec.eng.osaka-u.ac.jp/staff/oshikane/home/ya_zhonghomu.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

押鐘 寧 (OSHIKANE, Yasushi)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40263206

(2) 研究分担者

中野 元博 (NAKANO, Motohiro)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40164256

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

村井 健介 (MURAI, Kensuke)
産業技術総合研究所・材料・化学領域・
無機機能材料研究部門・主任研究員
研究者番号: 00358144