

令和元年6月18日現在

機関番号：13101  
研究種目：挑戦的萌芽研究  
研究期間：2016～2018  
課題番号：16K13662  
研究課題名(和文)フレキシブルプラズモニクセンサーシートの開発

研究課題名(英文)Development of Flexible Plasmonic Sensor Sheet

## 研究代表者

馬場 暁 (Baba, Akira)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：80452077

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フレキシブルグレーティング基板上で白色光照射表面プラズモンを共鳴励起し、共鳴状態からの輻射光を検出するセンシングシステムの構築を目指して研究を進めた。その結果、以下の成果が得られた。

透過型表面プラズモン共鳴法とc-MOSカメラを用いたイメージングによるセンシングシステムを構築した。フレキシブルプラズモニクセンサーシートの曲げ伸ばしを行った時の表面プラズモン励起特性を明らかにした。フレキシブルプラズモニクシートとマイクロ流路と組み合わせた透過型表面プラズモン励起波長のイメージング測定において、流路ごとの屈折率変化に対する検出が可能となった。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

透過型である表面プラズモン励起輻射光を始め、プラズモン励起を利用したフレキシブル化に関してはほとんど報告がなく、フレキシブル・伸縮させた状態でのプラズモン励起特性のメカニズムを明らかにしたことは学術的にも意義がある。本研究により、フレキシブルプラズモニクセンサーシートを用いた透過型表面プラズモンイメージングが可能となった。また、フレキシブル性を利用して簡単に着脱可能なプラズモニクシートの応用研究も行った。プラズモン励起輻射光の波長変化を検出する小型センシングシステムの研究を行い、スマートフォン取り付け型プラズモニクセンサーシートの開発は様々なセンサーへの応用も可能で社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we tried to construct transmission-type surface plasmon resonance sensing system using flexible grating substrate upon irradiation of white light. The results obtained are as followed.

1)The transmission-type surface plasmon resonance imaging sensor system with c-MOS camera was constructed. 2) The surface plasmon resonance properties at flexible/stretched state were studied using flexible plasmonic sheets. 3) The detection of refractive index change was obtained from the transmission-type surface plasmon resonance imaging measurements using the combination of flexible plasmonic sheet and microfluidic devices.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：表面プラズモン センサー フレキシブル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、インターネット・オブ・シングス(IoT)社会に向けて、膨大な情報を処理する必要性が出てきており、大面積化が容易であることや安価にボトムアップ型で作製できる有機フレキシブルエレクトロニクスデバイスの需要が増してきている。その中でも、ウェアラブル・フレキシブルのワイヤレス型、エネルギー自給型の有機センサーデバイスに関する研究開発は重要な課題の一つとなっている。

表面プラズモンの増強電界を用いた光・電子デバイスの高機能化・高効率化が図られている。表面プラズモンの異常透過現象は、Ebbesenらのグループによるナノホールアレイを用いた構造の報告後(Ebbesen et al. Nature, 1998)、ナノ構造の作製法や基礎的な原理についての研究の他、この現象を利用したカラーフィルター、バイオセンサー等いくつかの応用も考えられてきている。これは、特定の波長で励起し金属表面に強く閉じ込められた表面プラズモンを裏側から輻射により取り出すことができるためであり、ディスプレイへの応用の提案もされており(Choi et al. Adv. Opt. Mater. 2013)、基礎的な研究だけでなく応用の点からも注目されている。

我々は、大面積で使用可能で、電子ビームリソグラフィなどを用いずに簡単に作製可能な金属グレーティングナノ構造を利用した、透過型の表面プラズモン共鳴輻射現象による新機能発現を目指した基礎研究を行ってきている。これまでに、金属薄膜グレーティング上に表面からの距離を制御して金属微粒子を堆積することで、輻射光の増強が得られてきている(Lertvachirapaiboon, Baba et al. Plasmonics, 2013 & 2014)。また、輻射光強度・波長変化を利用したバイオセンサーへの応用(Baba et al. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2012)や、導電性高分子を利用して輻射光強度・波長をコントロールできることを示してきている(Baba et al. Adv. Funct. Mater. 2012)。

### 2. 研究の目的

本研究では、フレキシブルグレーティング基板上で白色光照射表面プラズモンを共鳴励起させ、共鳴状態からの輻射光を検出するセンシングシステムを構築する。これは、物質の吸着による表面プラズモン共鳴励起輻射光波長の変化をセンシングするもので、小型化・多機能化が可能なフレキシブルプラズモニックセンサーシートの開発に向けて基礎・応用研究を行うことを目的とする。主に、プラズモニック圧力センサーシート、透過型プラズモニックセンサーシートへの応用を行い、最終的にはスマートフォン上に取り付けて、スマートフォンの白色LEDを光源、CCDカメラをディテクターとしてセンシングすることが可能な、プラズモニックセンサーシートシステムの構築に挑戦する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 透過型プラズモニック圧力センサー

まず、フレキシブル状態でのプラズモン励起/輻射状態を理解することが必要となる。表面プラズモンは金属表面から指数関数的に減衰するエバネセント波であるが、面内方向ではグレーティング金属上を伝搬する波である(金では数十 $\mu\text{m}$ 程度に対してアルミニウム上では数百 $\mu\text{m}$ 以上伝搬するため曲げによる格子形状変化により伝搬特性も変化する)。有機薄膜/種々ナノ金属構造において、曲げ状態やストレッチ状態を変化させた場合における理論計算を、FDTD法を用いた電界解析により行う。このシミュレーションを基に、ナノ金属構造と各層の有機薄膜の誘電率変化による界面でのプラズモン励起、さらに裏側への輻射の関係について検討を行い、デバイス設計の指針として実際の実験結果へフィードバックさせて効果的に進めていく。次に、FDTDシミュレーションの結果を基にPDMSなどのフレキシブル基板上にグレーティング構造を作製し、曲げ状態やストレッチ状態を変化させた場合における表面プラズモン励起の実験的な検討を行う。この結果を基に、PDMSを用いてプラズモニック構造作製し、圧力センサーシートへの応用を検討する。

#### (2) プラズモニックシートセンサーシートの開発

次にプラズモニックセンサーシートの検討を行う。この場合も、表面プラズモン共鳴励起からの輻射を利用した透過型タイプを用いてセンサー応用の検討を行う。グレーティングPDMS上に金属薄膜の蒸着、電解重合法による導電性高分子の堆積を行い、プローブ分子を固定化してバイオセンサーとする。このセンサーシートを白色LEDに載せて、インプリント格子/金属薄膜/導電性高分子/プローブ分子の系において、環境物質や生体分子が吸着した時の誘電率変化によるプラズモン励起輻射光波長の変化を検出する。表面プラズモン電界は金属薄膜表面から百数十nmの領域のエバネセント波で、また面内方向への伝播も数十 $\mu\text{m}$ 程度であるため、目的物質が吸着する領域に一旦閉じ込められた光はその誘電率変化に高感度に反応し、励起条件が変わることで変化する励起波長を外部へと取り出すことが可能となるバイオセンサーである。このようなセンサーを作製するための格子部としては、ナノドット型、ナノ八ニカム型、格子型などのシリコンテンプレート基板から、PDMSなどを利用してナノインプリント法により作製可能である。形状の違いによる表面プラズモン励起輻射光特性についても詳しく評価・検討を行う。また、導電性高分子薄膜をパターン化することで、検出する生体分子の種類によって、出てくる光の波長が異なるようなフレキシブル多項目同時検出型のセンサーの構築も試みる。

#### (3) フレキシブルプラズモニックシート/スマートフォン一体型システムの構築

スマートフォンにセンシング部を取り付け・取り外しが可能なフレキシブルプラズモニックシート/スマートフォン一体型システムの構築を行う。プラズモニックシートは前年度までと同様に PDMS を用いることで、簡便にスマートフォン上に貼り付けてセンシングできるようにする。スマートフォンの白色 LED 上にコリメートレンズを載せ、この上にプラズモニックシートを貼り付ける。空気中のセンシングの場合は、集光レンズを先端に取り付けた光ファイバーを近づけてセットできるようにし、光ファイバーの反対側の先端に回折格子を取り付けて、スマートフォンの CCD カメラで検出する。液中の場合は、PDMS 中に流体デバイスを組み込むことにより溶液を入れ替える。出射される光は回折格子で分光されるため、CCD カメラでの検出位置により波長の差を検出することが可能となる。

#### 4. 研究成果

##### 平成 28 年度

図 1 のような透過型表面プラズモン共鳴法と、c-MOS カメラを用いたイメージングシステムを構築し、センシングを行った。ここでは、グレーティングプラスチック基板上に堆積した金薄膜上に、PDMS で作製したマイクロ流路と組み合わせ、表面プラズモン励起波長のみをイメージングするために、液晶可変チューナブルフィルタを c-MOS カメラの前に配置して、検出波長を変化させた。まず、銀ナノプリズムを交互吸着法により高分子電解質と多層膜化して、センシング用薄膜として過酸化水素の検出を流路ごとに濃度を変えて行った。

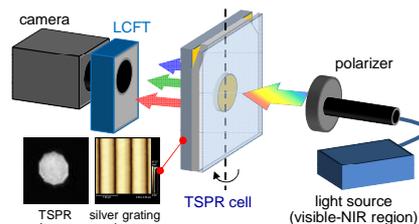


図 1 .マイクロ流路/透過型表面プラズモン共鳴イメージングシステム

また、フレキシブルプラズモニックシートを作製するための基礎評価として、フレキシブルプラズチック基板上にグレーティング形状金薄膜の作製を行い、フレキシブル状態での表面プラズモン輻射光特性の評価を行った。この結果、曲げ状態を変化させた状態においても良好な表面プラズモンが確認できた。また曲率を変化させることで、表面プラズモンの励起波長、輻射光強度の変化について検討を行った。

##### 平成 29 年度

フレキシブルプラズモニックシート開発のために必要である、曲げ伸ばしを行った時の表面プラズモン励起特性を明らかにするために、金属格子を直接伸縮可能なポリジメチルシロキサン (PDMS) 基板上に作製し、PDMS 基板を伸縮することで格子間隔を制御し、透過型表面プラズモン共鳴励起による裏側からの輻射光波長について検討を行った。その結果、基板の伸縮に伴う格子間隔の変化により、100nm 程度もの波長域で 1 nm 以下の精度で表面プラズモン励起波長を制御することが可能となった。

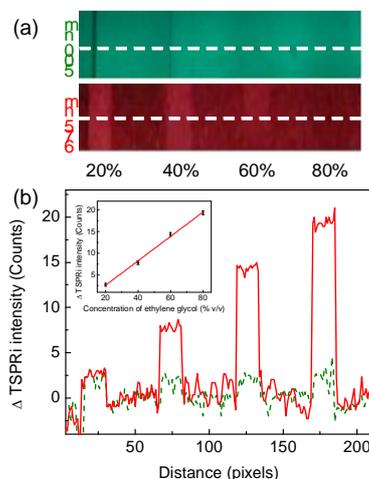


図 2 .(純水とエチレングリコールの比を変化させることで)マイクロ流路中の屈折率を変化させたときのそれぞれの流路の光強度の変化

また、PDMS で作製したマイクロ流路と組み合わせた表面プラズモン励起波長のイメージング測定では、流路ごとに屈折率を変化させた溶液を用いることで屈折率変化に対する PDMS マイクロ流路デバイス - 透過型表面プラズモンイメージングの感度の評価も行った。この時、スマートフォンを検出器として用いた場合の測定も行った。その結果、図 2 のように、屈折率変化に対する流路ごとの透過型表面プラズモンシグナルの変化が観測された。さらに、バイオセンサーへの応用として銀微粒子-クレアチニンの凝集を利用したクレアチニン検出も行った。この時、クレアチニンの濃度変化により銀微粒子の凝集状態が変化し、局在プラズモン励起波長が変化することでセンシング感度を向上することが可能となった。

##### 平成 30 年度

これまでに研究開発を進めてきたフレキシブルプラズモニックシートとマイクロ流路と組み合わせた表面プラズモン励起波長のイメージング測定において、スマートフォンを用いての検出を行った。特に、バイオセンサーへの応用として金微粒子-クレアチニンの凝集を利用したクレアチニン検出も行った。この時、クレアチニンの濃度変化により金微粒子の凝集状態が変化し、局在プラズモン励起波長が変化することでセンシング感度を向上することが可能となった。

また、グルコースを注入した銀微粒子水溶液をスマートフォンで検出して光吸収強度の導出を行い、比較・検討を行った。分光装置を用いて測定した光吸収の値とスマートフォンを用いて検出した光吸収の値に相関性が見られることから、銀微粒子を利用したスマートフォンでのグルコースの検出が可能であると考えられた。グルコース検出はグルコース濃度 20-100  $\mu\text{M}$  の範囲で良好な線形関係が見られ、検出限界は 19.8  $\mu\text{M}$  であった。

さらに、金量子ドットと銀ナノプリズムの複合水溶液を用いた、過酸化水素のセンシングも行った。過酸化水素による銀ナノプリズムのエッチング、形状変化によって、金量子ドットが

ら銀ナノプリズムへのエネルギー移動による消光現象が高感度に変化することが分かった。この結果を用いたグルコース検出についても検討を行った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計12件)

- (1) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Itaru Kiyokawa, Akira Baba, Kazunari Shinbo, and Keizo Kato “Colorimetric Determination of Hydrogen Peroxide Based on Localized Surface Plasmon Resonance of Silver Nanoprisms Using a Microchannel Chip”, *Analytical Letters*, Volume 52, 2019 - Issue 12 Pages 1939-1950 DOI: 10.1080/00032719.2019.1586913
- (2) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Takuya Maruyama, Akira Baba, Sanong Ekgasit, Kazunari Shinbo, and Keizo Kato Optical sensing platform for colorimetric determination of silver nanoprisms and its application for hydrogen peroxide and glucose detections using a mobile device camera” *Analytical Sciences*, Vol. 35 (2019), No. 3 pp. 271-276. DOI: 10.2116/analsci.18P412
- (3) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Kazunari Shinbo, and Keizo Kato, “A Smartphone-based surface plasmon resonance platform” *Analytical Methods*, 10, 4732-4740 (2018) DOI: 10.1039/c8ay01561a
- (4) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Chammari Pothipor, Akira Baba, Kazunari Shinbo, and Keizo Kato Transmission surface plasmon resonance image detection by a smartphone camera” *MRS Communications*, Volume 8, Issue 3 September 2018, pp. 1279-1284 DOI: 10.1557/mrc.2018.141
- (5) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Yuya Ito, Akira Baba, Kazunari Shinbo, and Keizo Kato “Controlling surface plasmon optical transmission by stretching a silver-coated elastomeric grating substrate” *Plasmonics*, December 2018, Volume 13, Issue 6, pp 2417-2421 DOI: 10.1007/s11468-018-0768-5
- (6) Chammari Pothipor, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Kontad Ounnunkad, and Akira Baba “Development of graphene oxide/poly(3,4-ethylenedioxythiophen)/ poly(styrenesulfonate) thin film-based electrochemical surface plasmon resonance immunosensor for detection of human immunoglobulin G” *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 57, 02CA07 (2018) DOI: 10.7567/JJAP.57.02CA07
- (7) Treenet Thepudom, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Teerakiat Kerdcharoen, and Akira Baba “Surface plasmon resonance-enhanced photoelectrochemical sensor for detection of an organophosphate pesticide chlorpyrifos” *MRS Communications*, Vol. 8, pp. 107-112 (2018) DOI: 10.1557/mrc.2017.131
- (8) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Sanong Ekgasit, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, and Futao Kaneko “Transmission surface plasmon resonance techniques and their potential biosensor applications” *Biosensors and Bioelectronics*, 99, pp.399-415 (2018) DOI: 10.1016/j.bios.2017.07.069
- (9) Saengrawee Sriwichai, Rapiphun Janmanee, Sukon Phanichphant, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Tadashi Yamamoto, and Akira Baba “Development of an electrochemical-surface plasmon dual biosensor based on poly(3-aminobenzoic acid) and polyelectrolyte thin films” *Journal of Applied Polymer Science*, 135, 45641 (1-10) (2018) DOI: 10.1002/app.45641
- (10) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Sanong Ekgasit, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko “Transmission surface plasmon resonance imaging of silver nanoprisms enhanced propagating surface plasmon resonance on a metallic grating structure” *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 249, October, Pages 39-43 (2017) DOI: 10.1016/j.snb.2017.04.037
- (11) C Lertvachirapaiboon, A Baba, S Ekgasit, K Shinbo, K Kato, F Kaneko “Microfluidic transmission surface plasmon resonance enhancement for biosensor applications” *Japanese Journal of Applied Physics* 56 (1), 017002, 2017 DOI: 10.7567/JJAP.56.017002
- (12) Wanida Tangkawsakul, Toemsak Srihirin, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Akira Baba “Application of Long-Range Surface Plasmon Resonance for ABO Blood Typing” *International Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 2016, 1432781, 8 pages (2016) DOI: 10.1155/2016/1432781

[学会発表](計22件)

- (1) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Maruyama Takuya, Akira Baba, Sanong Ekgasit, Kazunari Shinbo, Keizo Kato “Optical sensing platform for colorimetric determination of

- silver nanoprisms and its application in hydrogen peroxide and glucose detections using a mobile device camera” 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019 年
- (2) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, K. Shinbo and K. Kato “Transmission surface plasmon resonance imaging detected by smartphone camera” 第 28 回日本 MRS 年次会, 2018 年
  - (3) Akira Baba, Supeera Nootchanat, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato “Development of Plasmonic Organic Devices and Biosensors” NanoThailand 2018, 2018 年
  - (4) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, K. Shinbo, K. Kato, and F. Kaneko “Transmission surface plasmon resonance image detected by smartphone camera” 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics, 2018 年
  - (5) Akira Baba, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato “Investigation of Plasmonic Systems for Improvement of Organic Solar Cells and Biosensors” PERCH-CIC Congress X: 2018 International Congress for Innovation in Chemistry, 2018 年
  - (6) Theerasak Juagwon, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Tanakorn Osotchan, Toemsak Sriksirin, Kazunari Shinbo, Keizo Kato and Akira Baba “Signal Enhancement of Transmission Surface Plasmon Resonance IgG Sensor by Gold Nanoparticle Growth” 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018), 2018 年
  - (7) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, K. Shinbo, K. Kato, and F. Kaneko “Transmission surface plasmon resonance image detected by smartphone camera” 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018), 2018 年
  - (8) 馬場 暁, 伊藤優矢, ラートバチラパイブーン チュティパーン, 新保一成, 加藤景三 “格子形状伸縮による透過型表面プラズモン共鳴特性の制御” 電子情報通信学会総合大会, 2018 年
  - (9) Wisansaya Jakeandee, Sanong Ekgasit, Supeera Nootchanat, Parintorn Jangtawee, Porapak Suriya, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo Keizo Kato, Akira Baba “High Magnification Polymeric Lens for Smartphone Microscope and SPR Sensor Chip” 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018 年
  - (10) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Kazunari Shinbo, Keizo Kato “Transmission Surface Plasmon Resonance Image Detected by Smartphone Camera” 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018 年
  - (11) Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Sanong Ekgasit, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko “Transmission surface plasmon resonance imaging of silver nanoprisms enhanced propagating surface plasmon resonance on a metallic grating structure” 3rd Japan-Thailand Joint Symposium on Advanced Nanomaterials and Devices for Electronics and Photonics, 2018 年
  - (12) A. Baba, C. Lertvachirapaiboon, K. Shinbo, K. Kato, F. Kaneko “Surface Plasmon Resonance Excitation Based Organic Device Applications” The 4th International Conference on Advanced Electromaterials (ICAE 2017), 2017 年
  - (13) A. Baba, C. Lertvachirapaiboon, K. Shinbo, K. Kato, F. Kaneko “Surface Plasmon Resonance Enhanced Organic Devices and Biosensor Applications” Materia Manila 2017, 2017 年
  - (14) Yuya Ito, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko and Akira Baba “Stretch-tunable Transmission Surface Plasmon Resonance Properties” The 17th International Discussion and Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices (IDC-NICE 2017), 2017 年
  - (15) Treenet Thepudom, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Teerakiat Kerdcharoen1) and Akira Baba “Detection of Organophosphate Pesticide Chlorpyrifos by Surface Plasmon Enhanced Photoelectrochemical Sensors” The 17th International Discussion and Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices (IDC-NICE 2017), 2017 年
  - (16) Chamhari Pothipor, Kontad Ounnunkad1), Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Akira Baba “Detection of Creatinine Using Silver nanoparticles on Poly(pyrrole) Thin Film-Based Surface Plasmon Resonance Sensor” 2017 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF 2017), 2017 年
  - (17) Treenet Thepudom, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Teerakiat Kerdcharoen1) and Akira Baba “Surface Plasmon Resonance Enhanced Photoelectrochemical Sensor for Detection of Organophosphate Pesticide Chlorpyrifos” 2017 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF 2017), 2017 年
  - (18) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, S. Ekgasit, K. Shinbo, K. Kato, F. Kaneko

- “ Propagating surface plasmon resonance on metallic grating structure detected by transmission surface plasmon resonance imaging technique ” 2017 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF 2017), 2017年
- (19) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, S. Ekgasit, K. Shinbo, K. Kato, F. Kaneko “ Silver Nanoprisms Enhanced Propagating Surface Plasmon Resonance on Metallic Grating Structure Detected by Transmission Surface Plasmon Resonance Imaging Technique ” The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), 2017年
- (20) C. Lertvachirapaiboon, A. Baba, S. Ekgasit, K. Shinbo, K. Kato, F. Kaneko “ Silver nanoprisms enhanced propagating surface plasmon resonance on silver grating structure detected by transmission surface plasmon resonance imaging technique ” 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9), 2017年
- (21) Treenet Thepudom, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Kazunari Shinbo, Keizo Kato, Futao Kaneko, Teerakiat Kerdcharoen and Akira Baba “ Short-Circuit Current Enhancement in Photovoltaic-based Organophosphate Pesticide Chlorpyrifos Sensor Using Surface Plasmon Resonance Effect ” The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2017), 2017年
- (22) Keizo Kato, Takanari Nishilawa, Chutiparn Lertvachirapaiboon, Akira Baba, Kazunari Shinbo and Futao Kaneko “ Detection of Ammonia Gas Under Various Humidities Utilizing Transmission Surface Plasmon Resonance ” The 16th International Discussion & Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices, 2016年

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：表面プラズモン共鳴センサ装置

発明者：岩淵康男, 桑原知彦, 馬場暁, ラートバチラパイボーンチュティパーン, 新保一成, 加藤景三, 金子双男

権利者：岩淵康男, 桑原知彦, 馬場暁, ラートバチラパイボーンチュティパーン, 新保一成, 加藤景三, 金子双男

種類：特許

番号：特願 2017-226029

出願年：2017年

国内外の別：国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://researchers.adm.niigata-u.ac.jp/html/920\\_ja.html](http://researchers.adm.niigata-u.ac.jp/html/920_ja.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：エル チュティパーン

ローマ字氏名：L CHUTIPARN

所属研究機関名：新潟大学

部局名：自然科学系

職名：助教

研究者番号(8桁)：90769316

### (2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。