

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 19 日現在

機関番号：82108
研究種目：基盤研究(A)（一般）
研究期間：2017～2020
課題番号：17H01066
研究課題名（和文）高放射率な光メタ表面を核心要素とする超高感度・高安定分子検出システムの開発

研究課題名（英文）Development of ultrahigh, highly reproducible molecular detection system employing high-emittance optical metasurfaces

研究代表者
岩長 祐伸（IWANAGA, Masanobu）
国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員

研究者番号：20361066
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,500,000円

研究成果の概要（和文）：蛍光増強性能に特に優れるメタ表面をバイオセンサーとして確立することを目指した。開始当時はプラズモンメタ表面を想定していたが、誘電体や半導体のようなその他の材料からなるメタ表面の探索も課題として行った。その結果、早い段階で蛍光増強性能に非常に優れる全誘電体メタ表面を見出すことに成功した。本研究を通じて、抗体・抗原のタンパク質分子からDNAの核酸まで多様なバイオマーカーをメタ表面センサーという一つのプラットフォームで検出できることを示してきた。このことはメタ表面センサーがバイオセンサーとして汎用的であることを意味しており、今後様々な対象の超高感度検出において活用されるための基礎を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
高感度な蛍光バイオセンサーは多様な疾患マーカーや遺伝子検査に応用することができるが、1つのプラットフォームでそのような性能を満たすバイオセンサーはこれまで実現されていなかった。今回の研究を通じて、メタ表面センサーがその要件を満たすことを実証した。超高感度かつ高スループット（短時間）検出が可能であるため、今後医療検査の迅速化や検査対象となるバイオマーカーの対象拡大にたいする社会の需要に応える検査システムが生まれることにつながる成果である。

研究成果の概要（英文）：We aimed at establishing metasurface biosensors that have extremely high capability for fluorescence enhancement. At the beginning, plasmonic metasurfaces are assumed to be the good candidate. In addition, I explored other metasurfaces made of dielectrics and semiconductors. Consequently, I found all-dielectric metasurfaces that have excellent FL-enhancing capability at the early stage of this study. Going through this study, it has been established that metasurface biosensors can detect a wide range of targets from antibody/antigen (proteins) to DNA (nucleic acids) in a highly sensitive manner. This means that the metasurface biosensors are applicable for various targets.

研究分野：光バイオセンサー

キーワード：メタ表面 バイオセンサー 蛍光検出 癌マーカー分子 抗体 抗原 核酸

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは研究開始当初(2017年4月)までの数年の研究を通じて、高い光放射率を示すプラズモニックメタ表面(人工ナノ金属構造表面)を独自に考案し[1]、蛍光分子検出基板として多数の既報よりも顕著に優れた性能を示すことを実証した[2,3]。蛍光増強効果のない平坦なシリコンウェーハと比べて、最大2600倍の蛍光増強性能を示すことを明らかにした。特筆すべきことは、この蛍光増強効果は再現性が高いことであった。この高い再現性能を生かして、表面増強ラマン散乱などの既存の分子検出法よりも高感度かつ高再現性をもつ実用に資する分子検出法の開発が期待できる状況にあった。このような背景のもとで本研究を開始した。

2. 研究の目的

蛍光増強性能に特に優れるメタ表面をバイオセンサーとして活用することを目的とした。そのためには、巨大な生体分子をメタ表面上に効率良く固定し、物理吸着などの非特異的な夾雑分子の吸着を如何にして抑制するか、ということが課題となる。これらの課題を克服し、定量的で高感度な蛍光バイオセンサーを実現することを目指して、研究開発を遂行した。

研究開始当時はプラズモニックメタ表面を想定していたが、誘電体や半導体のようなそのほかの材料からなるメタ表面の探索も課題として研究を行った。その結果、早い段階で蛍光増強性能に非常に優れる全誘電体メタ表面を見出すことに成功した [5]。

3. 研究の方法

ここでは基本的な実験配置に関して説明する。100 μ L 程度の少量液体中に含まれる生体分子の検出がバイオセンサーとして必要であるため、マイクロ流路を導入した。液滴の滴下による方法と比べて、液滴の乾燥によって生じる不均一性がなく、流速を制御することで固定条件を定量的に設定できる利点がある。図1はメタ表面センサーの構成、配置、構造を示している[6]。

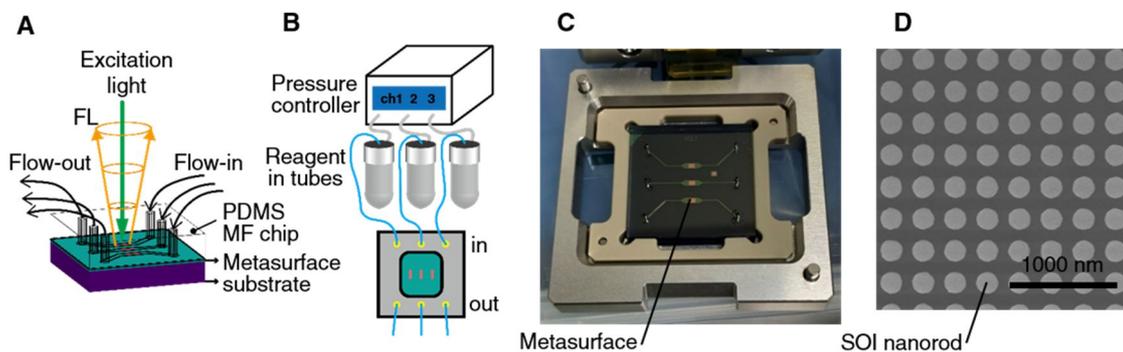


図1.(A)メタ表面センサーチップの模式図。(B)マイクロ流路制御系。(C)ホルダー内のメタ表面センサーチップの写真。中央付近の小さい四角がメタ表面。(D)全誘電体メタ表面を上から見た走査型電子顕微鏡像。スケールバーは1000nmを示している。[6]から引用

図1Aのようにメタ表面基板とPDMS(ポリジメチルシクロヘキサン)からなるマイクロ流路チップを貼り合わせて、メタ表面センサーチップを構成した。透明なPDMS側から励起光を当てて、蛍光を観測する配置をとる。図1Bはマイクロ流路系を模式的に示しており、送液を制御する圧力制御装置からマイクロチューブに圧力をかけ、液をメタ表面センサーチップへと流す。マイクロチューブを交換することにより液種を交換できる。このとき、メタ表面センサーチップは図1Bの下側にあるようにホルダーにセットされて送液チューブと接続されている。抗体や抗原などのタンパク質分子検出はこの配置で行うことができる。図1Cの写真はホルダー内に配置されているメタ表面センサーチップを撮影したものであり、3系統のマイクロ流路を有する。設計により、1チップの上に流路数を増やすことは勿論可能である。図1Dはシリコンナノロッドアレイからなる全誘電体メタ表面の走査型電子顕微鏡像である。ナノロッド間の周期は300nm、直径は約220nmであった。

一本鎖のDNA検出をメタ表面センサーチップにおいて行う際には、DNA交配を行って相補的な構造の対を結合させる必要がある。DNA交配は鎖長の長さに応じた適切な反応温度があるため、温度制御機構を導入する必要がある。図2は新型コロナウイルスの相補DNAを検出した実験配置[7]を示している。図2Aでは、まず全誘電体メタ表面に捕捉分子シスストレプトアビジン(Cys-SA)を固定する。20 μ g/mL濃度のCys-SA希釈液をマイクロ流路に流すことにより、Cys-SAはヒスタグを通じてシリコンナノロッド表面に結合する。マイクロ流路をリンスして固定されていないCys-SAを除いた後、ピオチン化されたターゲットの相補DNAをマイクロ流路に流すと、ピオチン・アビジン間の結合によりターゲットの相補DNAがメタ表面上に固定される。ターゲット濃度はピコモラー(pM)オーダーの低濃度とした。モラーはmol/Lである。相補DNAはウイルスのRNAを転写した核酸であるため、一本鎖のDNAである。ター

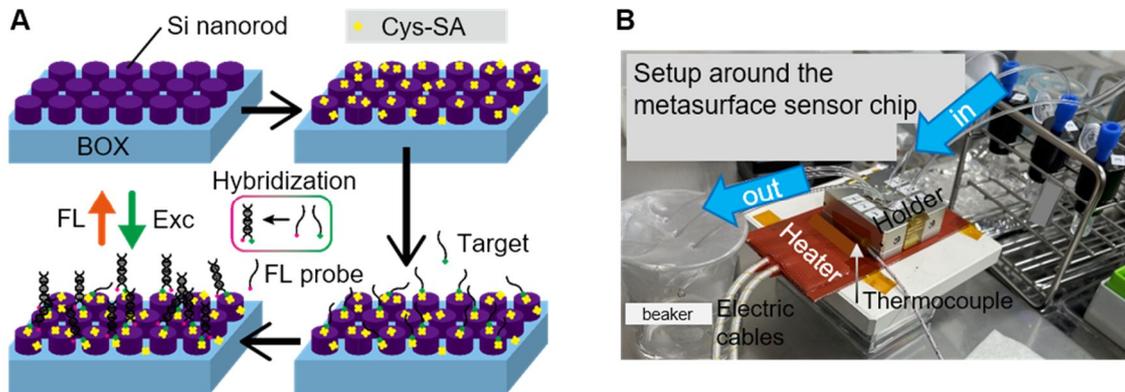


図2 . (A) 新型コロナウイルスの相補 DNA を検出したプロトコル模式図。 (B) DNA 交配のためにメタ表面センサーチップをホルダーごと加熱している様子。茶色の部分がシリコンラバーヒーターである。 [7]から引用

ゲット DNA と組みをなす DNA 配列に蛍光プローブをあらかじめ標識しておき、マイクロ流路に流す。このとき、DNA が適切な塩濃度下であり交配に適した温度にあると、ターゲット DNA と蛍光プローブ DNA が結合する。これにより、メタ表面上でターゲットの相補 DNA を蛍光検出できる。DNA 交配のためにメタ表面センサーチップはホルダーごと加熱した。その様子を図 2 B の写真で示している。フィードバック機能で温度制御されたシリコンラバーヒーターの上にホルダーを置いて温度管理を行った。

4 . 研究成果

研究の初期段階において、「生体の窓」と言われる $1.1 \mu\text{m}$ 帯においてもメタ表面基板の蛍光増強効果が得られることを示した[4]。その後、マイクロ流路制御系を導入して、本格的にメタ表面センサーチップにおける生体分子検出実験に移行した。

主な成果について述べると、金を必要としない全誘電体メタ表面にも着目したことで高い蛍光増強性能を有するシリコンナノロッドアレイ型メタ表面の発見[5]、全誘電体型メタ表面センサーが疾患に關与する抗原・抗体と呼ばれる生体分子の高感度検出[6]、新型コロナウイルスの相補 DNA の直接的な高感度検出[7]、高放射率をもつプラズモニックメタ表面センサーのバイオセンサーとしての高性能実証[8]をこれまでに論文発表した。

図 2 に示した新型コロナウイルスの相補 DNA 検出実験においては、 250 fM (フェムトモラー) でも検出できた。一連の実験においては検出曲線の解析から、 110 fM が検出限界であった。核酸の増幅を含まない直接的な検出法ではかなり高感度な検出である。核酸増幅による感度には及ばないものの、現在抗原キットで簡易的に行われている新型コロナウイルスの検査を核酸で行うことは可能な水準にある。相補 DNA 検出の 1 つの利点は DNA を人工的にオリゴ合成できるため、動物実験などを経て抗体を作る手間や時間が必要ない点にある。

ここでは紙数に限りがあるため、癌マーカー CEA の現実的な検査配置における結果を中心に述べる (図 3)。図 1 に示したマイクロ流路系を使用して CEA のサンドウィッチ検出を試みた。図 3 A はメタ表面センサーチップに緑色の LED 光を照射している様子の写真である[7]。基板上に 3 つあるメタ表面の 1 つを光励起できていることが分かる。蛍光像を取得するための光学配置は図 3 B に描いている。緑色の LED 光を励起光として導入し、上からメタ表面センサーチップに照射する。励起光と同軸でメタ表面上からの蛍光を集光し、蛍光バンドパスフィルターで蛍光信号成分のみを CCD カメラで受光する。簡易なセットアップであるが、蛍光顕微鏡の基本的要素を備えている。図 3 C はサンドウィッチ検出の概念図を示している。サンドウィッチは CEA 抗体・CEA (光源)・CEA 抗体の挟み込んだ構造体が形成されることから、そう呼ばれている。シリコンナノロッドアレイからなる全誘電体メタ表面に Cys-SA を最初に固定し、ピオチン標識付きの CEA 抗体液と標識なしの CEA 抗体液を 1 : 1 の比で検出対象である CEA と混合して 400 rpm 、 60 分 のインキュベーションを行い、サンドウィッチ構造体を形成させた。CEA の濃度を変えて、複数の反応液を用意し、マイクロ流路に流してメタ表面上に固定した。マイクロ流路内をリンスしたのち、2 次抗体である蛍光ラベル付きの IgG (濃度 100 ng/mL) を流して、図 3 C のようにサンドウィッチ構造体に結合させた。蛍光ラベル付きの IgG はポリクローナル抗体であるため、抗体同士の結合も生じる。この効果は蛍光信号を数倍大きくすることに寄与する。蛍光測定の結果を図 3 D に示している。中央付近の長方形がメタ表面に対応する。検出対象の CEA 濃度が $10, 1, 0.1 \text{ ng/mL}$ の場合を示しており、いずれの濃度においても蛍光信号が明確に観測されている。図 3 E に蛍光強度 (オレンジ色の点) を CEA 濃度に対してプロットしており、医療診断基準値 5 ng/mL (赤線) よりも低濃度域においてもメタ表面センサーは検出でき、実用的に十分な性能をもつ。点線は Hill 方程式によるフィッティング曲線である。Hill 方程式は定常的な条件下の化学反応の生成物を求める式として知られており、マイクロ流路内の結合反応が化学反応と考えられるため、フィッティングに用いる式として適切である。免

疫検定解析では経験的に常用されている。理想的に蛍光のバックグラウンドを下げることでできる場合には、検出限界は 3σ (σ : 標準偏差) 基準から 0.85 pg/mL と見積もることができる (図 3 E 中矢印)。原理的に、超高感度検出であると言える。以上のように医療診断に現在使用されている癌マーカー-CEA の検出に成功した[6]。

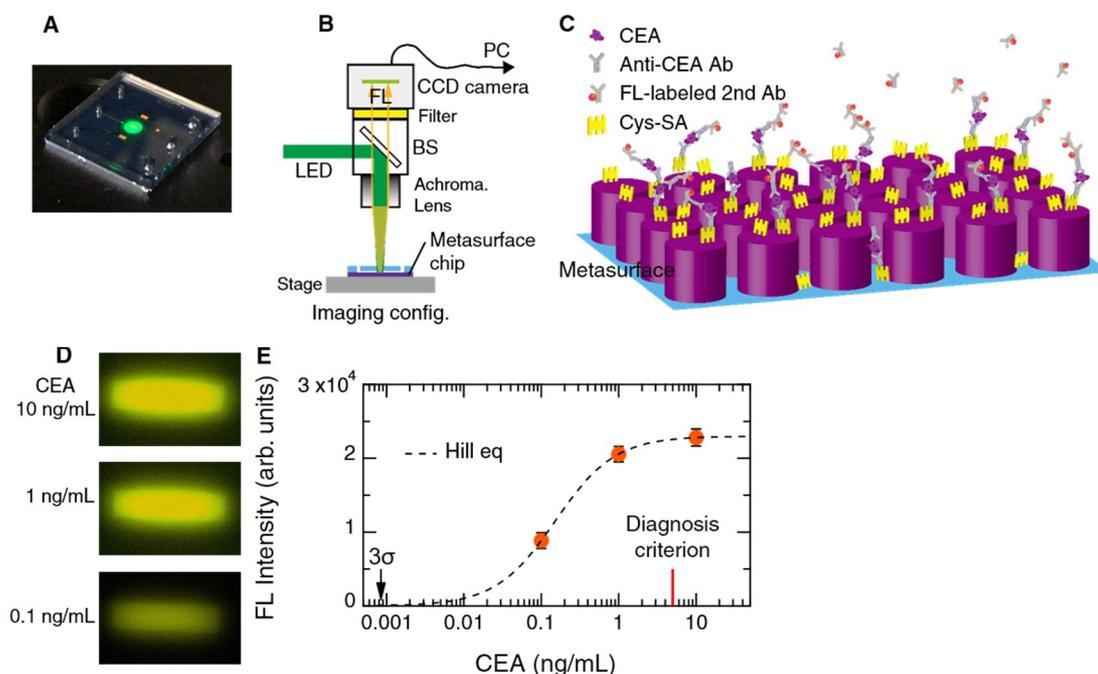


図 3 .(A) メタ表面センサーチップに緑色の LED 光を照射している様子。(B) 蛍光測定の配置図。LED 光と同軸で蛍光を集光し、CCD カメラで蛍光イメージとして測定する。(C) 癌マーカー-CEA のサンドウィッチ検出概念図。(D) CEA の蛍光検出像。黄色い長方形がメタ表面に対応している。(E) CEA 濃度に対して蛍光強度をプロットしたグラフ。測定点はオレンジの円、Hill 方程式によるフィッティング曲線は点線で表している。CEA の医療診断基準値は 5 ng/mL である (図中赤線位置)。 (A) は[7]から引用、そのほかは[6]から引用

メタ表面センサーは夾雑分子耐性にも優れており、血清中の抗体も純粋なバッファー中の抗体と同様に検出できることを示した[6]。このことはバイオセンサーの性能としては非常に重要である。なぜなら、現実の検出対象の抗体や抗原は、アルブミンや免疫グロブリンなどのそのほかの分子が圧倒的に多い血清中などにわずかに混じっている状態にあるためである。

結論として、本研究期間を通じて、抗体・抗原のタンパク質分子から DNA の核酸まで多様なバイオマーカーをメタ表面センサーという一つのプラットフォームで高感度検出できることを示してきた。このことはメタ表面センサーがバイオセンサーとして汎用的であることを意味しており、今後様々な対象の高感度検出において活用されるための基礎付けを本研究で行った。

以上のほかに、ナノリソグラフィ法を生かした関連の研究として、プラズモニックメタ表面における半導体量子ドット発光の超線形応答がプラズモン共鳴の量子的性質から生じることを明らかにし[9]、GaN からなる大面積の平坦なメタ表面レンズの作製と性能実証を行った[10]。

参考文献

1. M. Iwanaga and B. Choi, "Heteroplasmon Hybridization in Stacked Complementary Plasmic-Photonic Crystals," *Nano Lett.* **15**, 1904 (2015).
2. B. Choi, M. Iwanaga, H. T. Miyazaki, Y. Sugimoto, A. Ohtake, and K. Sakoda, "Overcoming metal-induced fluorescence quenching on plasmic-photonic metasurfaces coated by a self-assembled monolayer," *Chem. Commun.* **51**, 11470 (2015).
3. M. Iwanaga, B. Choi, H. T. Miyazaki, and Y. Sugimoto, "The artificial control of enhanced optical processes in fluorescent molecules on high-emittance metasurfaces," *Nanoscale* **8**, 11099 (2016).
4. H. Kurosawa and M. Iwanaga, "Optical-signal-enhancing metasurface platforms for fluorescent molecules at water-transparent near-infrared wavelengths," *RSC Adv.* **7**, 37076 (2017).
5. M. Iwanaga, "All-Dielectric Metasurfaces with High-Fluorescence-Enhancing Capability," *Appl. Sci.* **8**, 1328 (2018).
6. M. Iwanaga, "All-Dielectric Metasurface Fluorescence Biosensors for High-Sensitivity Antibody/Antigen Detection," *ACS Nano* **14**, 14758 (2020).

7. M. Iwanaga, “High-Sensitivity High-Throughput Detection of Nucleic-Acid Targets on Metasurface Fluorescence Biosensors,” *Biosensors* **11**, 33 (2021).
8. M. Iwanaga, “High sensitive wide-target fluorescence biosensors made of high-emittance metasurfaces,” *Biosens. Bioelectron.* **190**, 113423 (2021).
9. M. Iwanaga, T. Mano, and N. Ikeda, “Superlinear Photoluminescence Dynamics in Plasmon–Quantum-Dot Coupling Systems,” *ACS Photonics* **5**, 897 (2018).
10. G. Brière, P. Ni, S. Héron, S. Chenot, S. Vézian, V. Brandli, B. Damilano, J. Y. Duboz, M. Iwanaga, and P. Genevet, “An Etching-Free Approach Toward Large-Scale Light-Emitting Metasurfaces,” *Adv. Opt. Mater.* **7**, 1801271 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 BRIERE Gauthier, NI Peinan, HERON Sebastien, CHENOT Sebastien, VEZIAN Stephane, BRANDLI Virginie, DAMILANO Benjamin, DUBOZ Jean Yves, IWANAGA Masanobu, GENEVET Patrice	4. 巻 7
2. 論文標題 An Etching Free Approach Toward Large Scale Light Emitting Metasurfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1801271-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201801271	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 IWANAGA Masanobu	4. 巻 8
2. 論文標題 All-Dielectric Metasurfaces with High-Fluorescence-Enhancing Capability	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1328-1 ~ 1328-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8081328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 IWANAGA Masanobu	4. 巻 1092
2. 論文標題 Recent progress in emittance-controlled optical metasurfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1092/1/012053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 KUROSAWA Hiroyuki, IWANAGA Masanobu	4. 巻 7
2. 論文標題 Optical-signal-enhancing metasurface platforms for fluorescent molecules at water-transparent near-infrared wavelengths	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 37076 ~ 37085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ra05664h	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 IWANAGA Masanobu、MANO Takaaki、IEKDA Naoki	4. 巻 124
2. 論文標題 Nonlinear optical response of embedded-semiconductor quantum dots covered by plasmonic metasurfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics A	6. 最初と最後の頁 93-1 ~ 93-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00339-017-1548-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 IWANAGA Masanobu、MANO Takaaki、IKEDA Naoki	4. 巻 5
2. 論文標題 Superlinear Photoluminescence Dynamics in Plasmon-Quantum-Dot Coupling Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 897 ~ 906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.7b01142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 IWANAGA Masanobu	4. 巻 190
2. 論文標題 Highly sensitive wide-range target fluorescence biosensors of high-emittance metasurfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biosensors and Bioelectronics	6. 最初と最後の頁 113423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bios.2021.113423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 IWANAGA Masanobu	4. 巻 14
2. 論文標題 All-Dielectric Metasurface Fluorescence Biosensors for High-Sensitivity Antibody/Antigen Detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 17458 ~ 17467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c07722	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 IWANAGA Masanobu	4. 巻 11
2. 論文標題 High-Sensitivity High-Throughput Detection of Nucleic Acid Targets on Metasurface Fluorescence Biosensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biosensors	6. 最初と最後の頁 33-1 ~ 33-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/bios11020033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 全誘電体メタ表面バイオセンサーにおける抗原・抗体の高感度検出
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 バイオマーカー分子を高感度に蛍光検出するメタ表面センサー
3. 学会等名 次世代医療システム産業化フォーラム, (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masanobu Iwanaga
2. 発表標題 Highly Sensitive Metasurface Biosensors Applicable for Targets from Antigen/Antibody toDNA/RNA
3. 学会等名 India-Japan Webinar on Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 光メタ表面センサーにおける高感度 DNA 検出
3. 学会等名 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 マルチターゲット検出型メタ表面バイオセンサーシステム
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会ソサイエティ大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 高機能フォトニクスに向けた人工平面構造の精密解析
3. 学会等名 第 7 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 高感度なバイオ分子検出メタ表面センサー
3. 学会等名 NIMS WEEK 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 光メタ表面センサーとウイルス検出に向けて
3. 学会等名 シンポジウム「コロナウイルス感染症とナノメディシン」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 全誘電体メタ表面バイオセンサーにおける抗原・抗体の高感度検出
3. 学会等名 第 68 回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Iwanaga Masanobu
2. 発表標題 Perfect Light Absorption Technologies
3. 学会等名 IEEE 8th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwanaga Masanobu
2. 発表標題 Recent progress in metasurface biosensors for highly efficient fluorescence detection
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics (Conference 104). Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XVII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwanaga Masanobu
2. 発表標題 A3 Metamaterials Forum 2019
3. 学会等名 Large-scale optical metasurfaces: The designs and realization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwanaga Masanobu
2. 発表標題 Recent progress in highly sensitive biosensing on optical metasurfaces
3. 学会等名 The International Symposium on Plasmonics and Nano-photonics (iSPN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 メタ表面センサーによるバイオマーカー分子の蛍光検出
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 超高感度なバイオマーカー検出のためのメタ表面センサー
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020 年総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 IWANAGA Masanobu
2. 発表標題 Metasurface Spectroscopic Analyzers
3. 学会等名 The 40th Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS) 2018 in Toyama (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 IWANAGA Masanobu
2. 発表標題 Mie-Resonance-Enhancing Electric-Dipole Emissions on All-Dielectric Metasurfaces
3. 学会等名 Metamaterials ' 2018, The 12th International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 IWANAGA Masanobu
2. 発表標題 Recent progress in emittance-controlled optical metasurfaces
3. 学会等名 METANANO 2018, The 3rd International Conference on Metamaterials and Nanophotonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 人工設計ナノ構造表面における光と物質の相互作用操作
3. 学会等名 第2回RIKEN-NIMS マテリアルイノベーションコアワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 メタマテリアルと光学超解像---ハイパーレンズとその周辺---
3. 学会等名 日本学術振興会産学協力委員会「メタマテリアル」第187委員会平成30年度第2回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 機能性光メタ表面の機械探索
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 IWANAGA Masanobu
2. 発表標題 Plasmonic Metasurfaces: Active Functions beyond Simple Electric-Field Enhancement
3. 学会等名 The 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 IWANAGA Masanobu, MANO Takaaki, IKEDA Naoki
2. 発表標題 Nonlinear Optical Responses under Weak Excitation Regime from Embedded Quantum Dots in Semiconductors Covered by Plasmonic Metasurfaces
3. 学会等名 META 2017, The 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩長祐伸, 間野高明, 池田直樹
2. 発表標題 量子ドット成長基板上に作製したプラズモニックメタ表面の超線形効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮崎英樹, 岩長祐伸
2. 発表標題 光放射メタ表面の創製と応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会, 第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩長祐伸
2. 発表標題 Metasurface Biosensors: Plasmonic vs Dielectric
3. 学会等名 第8回電磁メタマテリアル講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 蛍光検出用生体分子検査チップ	発明者 岩長祐伸	権利者 国立研究開発法人物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、2019-231043	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 蛍光検出用生体分子検査チップ	発明者 岩長祐伸	権利者 国立研究開発法人物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/041153	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

NIMS SAMURAI site https://samurai.nims.go.jp/profiles/IWANAGA_Masanobu 研究代表者のウェブページ https://www.nims.go.jp/nanophoto/iwanaga/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	池田 直樹 (IKEDA Naoki) (10415771)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・技術開発・共用部門・主任エンジニア (82108)	ナノファブリケーション

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------