

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：12605
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2018～2020
課題番号：18H01894
研究課題名（和文）フェムト秒レーザーにより非金属表面に励起される表面プラズモンのダイナミクス

研究課題名（英文）Dynamics of surface plasmon polaritons excited on nonmetallic material with femtosecond laser pulse

研究代表者
宮地 悟代（MIYAJI, GODAI）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：30378905
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：高強度のフェムト秒（fs）レーザーパルスでSiに集光照射することにより表面を金属化した後、低強度のfsパルスを照射することにより、表面プラズモン・ポラリトン（SPP）を過渡的に励起できることを初めて観測した。実験結果により、SPP波長や伝搬長、振幅が、高強度fsパルスのフルーエンスと2つのパルスの時間差によって変化すること、SPPを最も強く励起できる実験条件を初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表面プラズモンは伝導電子の集団振動であり、ナノメートル領域に高強度の電磁場を有する特徴から、様々な光デバイスに応用されている。本研究により、伝導電子が存在しない半導体・誘電体表面に高強度レーザー光を照射することにより、表面プラズモンを励起でき、ナノメートルサイズで微細加工できることが分かった。さらに、高強度レーザー光の照射条件によって、表面プラズモンの励起効率を数倍～数10倍増強できることを初めて明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We have observed that a low-fluence femtosecond (fs) laser pulse can transiently excite surface plasmon polaritons (SPPs) on a silicon grating metalized by the intense fs laser pulse. The experimental results obtained clearly show that SPP wavelength, propagation length, and amplitude can be changed by the laser fluence and time difference between two beams, and that they have optimum for its strong excitation.

研究分野：非線形光学

キーワード：表面プラズモン フェムト秒レーザー レーザー加工 ナノ構造

1. 研究開始当初の背景

表面プラズモン・ポラリトン (SPP) は、金属と誘電体界面で存在する準粒子である。これまで半導体や誘電体のような非金属には、自由電子応答が現れる短波長光でのみ SPP 励起が観測されていた。近年、自由電子応答が現れない波長でも、高強度のフェムト秒 (fs) レーザーで固体表面を金属化することにより、SPP を励起できることが初めて実証され、ナノメートルサイズで加工されることが明らかとなった。これらの結果は、過渡的な SPP を利用すると光の回折限界以下の微細加工が実現できることを示している。しかしながら、これまでの実験では、高密度プラズマを生成するレーザーと SPP を励起・観測するレーザーが同一であるため、ダイナミクスに関する情報が少なく、加工形状を任意に制御するためのレーザー照射方法が不明である。したがって、加工形状を制御可能なナノ加工技術へと発展させるためには、

(1) SPP の成長および緩和過程における SPP 波長や振幅、伝搬長、伝搬時間、空間モード (プラズモニック・バンドギャップ) を特定すること

(2) 測定した SPP の諸特性とレーザー加工後の表面形状を比較することによって、加工形状を決定する SPP の特性を特定し、形状を制御できるレーザー照射方法を見出すことが必要であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記 2 つの課題を解決し、初めてのレーザーナノ加工技術基盤を確立することである。

3. 研究の方法

伝搬光を入射して SPP を励起しようとする、SPP の波数は入射光の波数よりも大きい、それだけでは位相整合条件を満たすことができない。そこで、回折格子によって発生する回折光を伝搬光に足し合わせることで三者で位相整合条件を満たす手法が用いられる。位相整合条件に加え、エネルギー保存則を満たすとき、入射した伝搬光は SPP と共鳴的に結合し、入射光のエネルギーの一部が SPP へと移動する。回折格子表面への伝搬光の入射角度 θ や波長 λ の関数として反射率 R を測定すると、この現象は特定の θ や λ で R の急激な低下 (いわゆるディップ) が現れる。このとき、 R を θ や λ を関数としてプロットした曲線は、表面プラズモン共鳴 (Surface plasmon resonance, SPR) 曲線とよばれ、SPP の振幅、波長、減衰長のような特徴的な量を示すことがよく知られている。

本実験では、フォトリソグラフィとドライエッチングによって p 型の Si 基板からラミナー回折格子を作製し、ターゲットとして使用した。実験で用いた Si 回折格子の格子周期は 1300 nm、溝の幅は 650 nm、溝の深さは 70 nm であった。

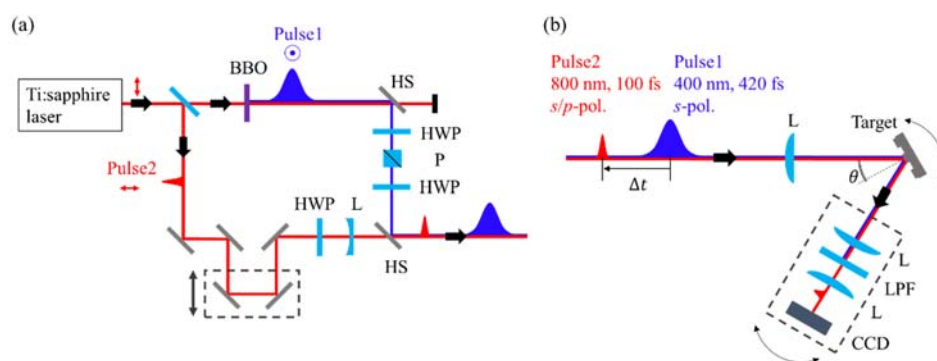


図 1 実験光学系の配置図。(a) 2 つのパルス (Pulse 1 と Pulse 2) を生成するための系、(b) 時間分解反射率測定のための系。

反射率測定に用いた光学系を図 1 に示す。光学系は 2 つのパルスを生成する系 (図 1(a)) と、2 つのパルスをターゲットに照射し、反射光を観測する系 (図 1(b)) の 2 つに分けられる。本実験では、繰り返し周波数 10 Hz で動作する Ti:sapphire レーザーシステムから出力される中心波長 800 nm、パルス幅 100 fs の直線偏光レーザーパルスを使用した。片面無反射コートした合成石英基板を透過したパルスを、BBO 結晶を通過させ、その第二高調波を高密度電子を励起するための fs パルス (Pulse 1) とした。一方、合成石英基板を反射したパルスを SPP の励起および観測するための fs パルス (Pulse 2) とし、遅延時間 Δt を一軸移動ステージの移動量によって調節した。これら 2 つのパルスをハーモニックセパレータによって合波し、同軸となるよう重ね合わせた。ここで、Pulse 1 で集光照射されたターゲット表面に Pulse 2 を広く均一に照射するために、合波する直前に焦点距離 $f = -220$ mm の平凹レンズを挿入した。Pulse 1 と 2 を第三高調波発

生用の BBO 結晶を用いて相互相関波形を測定したところ、Pulse 1 のパルス幅は 420 fs であり、ファイバー分光器を用いてスペクトルを測定したところ Pulse 1 の中心波長は 400 nm であった。また、Pulse 2 のフルーエンスは 0.6 mJ/cm^2 未満であった。 θ を変えても Pulse 1 のフルーエンス F が一定になるように、一对の半波長板と偏光子を用いて $1/\cos\theta$ の係数で Pulse 1 のエネルギーを調節した。さらに半波長板によって Pulse 1 を s 偏光とした。Pulse 1 と 2 のピーク強度が一致するときを $\Delta t = 0$ とした。2 つのパルスを $f = 347 \text{ mm}$ の平凸レンズで集光し、入射角 θ でターゲット表面に照射した。ターゲットからの反射光を $f = 100 \text{ mm}$ と $f = 500 \text{ mm}$ のレンズ対で拡大し、CCD 上へターゲット表面の像を拡大転送した。 θ を変えるときには、Pulse 1 の焦点を中心にターゲットを θ だけ回転させると同時に、レンズ対と CCD カメラが設置されているステージを 2θ だけ回転させた。Pulse 1 の集光スポットの半径は $40 \mu\text{m}$ (e^2 強度)、Pulse 2 のターゲット表面でのスポットの半径は 0.65 mm (e^2 強度) であった。Pulse 2 の反射光を CCD カメラで観測するときには、Pulse 1 を遮蔽するためにローパスフィルタ (LPF) をレンズ対の間に挿入した。取得した CCD 画像より、Pulse 1 のスポット中心から半径 $9 \mu\text{m}$ の反射光強度を抽出し、Pulse 1 のピークフルーエンス F 近傍の R を測定した。ターゲット表面に 2 つのパルスを照射した後、ターゲット表面を自動 xy ステージで動かし、常に 2 つのパルスをターゲット表面のパルス未照射部に照射するようにした。

4. 研究成果

図 2 は、入射角 $\theta = 10 - 60^\circ$ を関数として測定した Si 回折格子の反射率 R を示す。青四角は Pulse 1 を照射しないとき、赤丸は $F = 1 \text{ J/cm}^2$ の Pulse 1 を $\Delta t = 0.6 \text{ ps}$ で照射したときの R を示している。中塗りは Pulse 2 が p 偏光、白抜きは s 偏光を示す。 R は、同じ条件で 3 回実験を行った平均であり、エラーバーは Student の t 分布で信頼区間 95% を示している。Pulse 1 を照射しないときの R は、結合波厳密解析法 (RCWA 法) を用いて Si 回折格子の R を計算した結果 (黒実線) とよく一致している。ここで、 p 偏光で $\theta = 23^\circ$ に小さな反射率の減少が見られるが、これは入射波長と同程度の周期を持つ回折格子で現れる光の共鳴透過現象であることが知られている。これらの結果は、Pulse 1 を照射していない表面では自由電子が存在せず、SPP は励起されないことを示している。一方、Pulse 1 を照射したときの R は、Pulse 1 を照射していないときに比べ、 p 、 s 偏光ともに R は 2 倍程度増加している。また、 θ を 10° から増加させたとき、 s 偏光では R は単調に増加する一方で、 p 偏光では $\theta \sim 24^\circ$ で変調度 $\alpha \sim 25\%$ の大きな R のディップが見られる。ここで、変調度 α とは SPR 曲線においてディップ周辺の R に対するディップで減少した R の割合と定義する。これらの結果は、Pulse 1 の照射によって Si 回折格子表面に高密度電子が励起されて金属化されたこと、 p 偏光で低強度の Pulse 2 によって大気と Si 回折格子の界面に SPP が励起されたことを明確に示している。

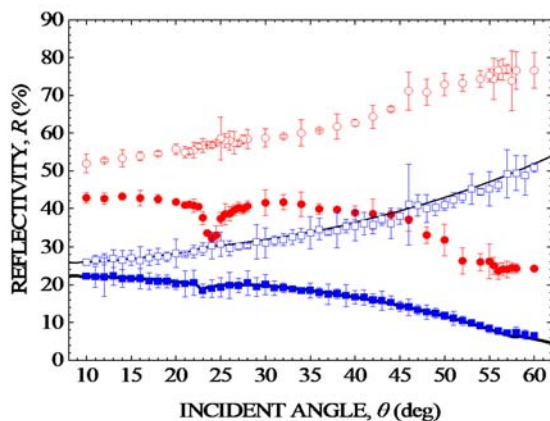


図 2 測定した Si 回折格子の反射率。Pulse 1 を照射しないとき (青四角)、 $F = 1 \text{ J/cm}^2$ を $\Delta t = 0.6 \text{ ps}$ で照射したとき (赤丸)。 p 偏光 (塗り)、 s 偏光 (白抜き)。太線と細線はそれぞれ、未励起の Si 回折格子の p 偏光と s 偏光の反射率の計算結果を示す。

次に、 $F = 1 \text{ J/cm}^2$ の Pulse 1 を $\Delta t = -0.4 - 10 \text{ ps}$ の範囲で変化させて R を測定した。図 3(a) は、 $\Delta t = -0.4, -0.2, 0, 0.1, 0.2 \text{ ps}$ の R を示す。 Δt の増加にともない、 R も増加していることが分かる。 $\Delta t = -0.4 \text{ ps}$ では $\alpha \sim 15\%$ 、ディップ周辺の SPR 曲線の半値幅は $\Delta\theta \sim 4^\circ$ である。一方、 $\Delta t = 0.2 \text{ ps}$ では $\alpha \sim 30\%$ 、 $\Delta\theta \sim 2^\circ$ であり、 Δt の増加にともなってディップ周辺の SPR 曲線の形状は鋭く、かつ、深くなっている。さらに、ディップの位置 θ_{SPP} は $\Delta t = -0.2 \text{ ps}$ で 25° である一方、 $\Delta t = 0.2 \text{ ps}$ では 24° へと移動している。これらの結果は、Si 回折格子表面内に発生する自由電子の密度が Δt で過渡的に増加すること、それにともなって Pulse 2 と励起された SPP が強く結合していることを示している。

次に、図 3(b) に $\Delta t = 0.2, 0.6, 1.8, 10 \text{ ps}$ の R を示す。図 3(a) と比較すると、 $\Delta t = 0.6 - 10 \text{ ps}$ では Δt の増加に伴い、 R は減少していることが分かる。また、 $\Delta t = 1.8 \text{ ps}$ では $\alpha \sim 20\%$ 、 $\Delta\theta \sim 2.5^\circ$ とな

り、ディップ周辺の SPR 曲線の形状は鈍く、かつ、浅くなっている。さらに、 $\Delta t = 10$ ps では R のディップはほぼ消失している。また、 $\Delta t = 0.2$ ps では $\theta_{\text{SPP}} = 24^\circ$ である一方、 $\Delta t = 1.8$ ps では $\theta_{\text{SPP}} = 24.5^\circ$ 、 $\Delta t = 10$ ps では $\theta_{\text{SPP}} = 25^\circ$ へと単調に増加している。この結果は、Pulse 1 通過後の $\Delta t = 0.6\text{--}10$ ps では Si 回折格子表面に励起されていた自由電子の密度が低下すること、それにともなって Pulse 2 と励起される SPP の結合が弱くなっていることを示している。

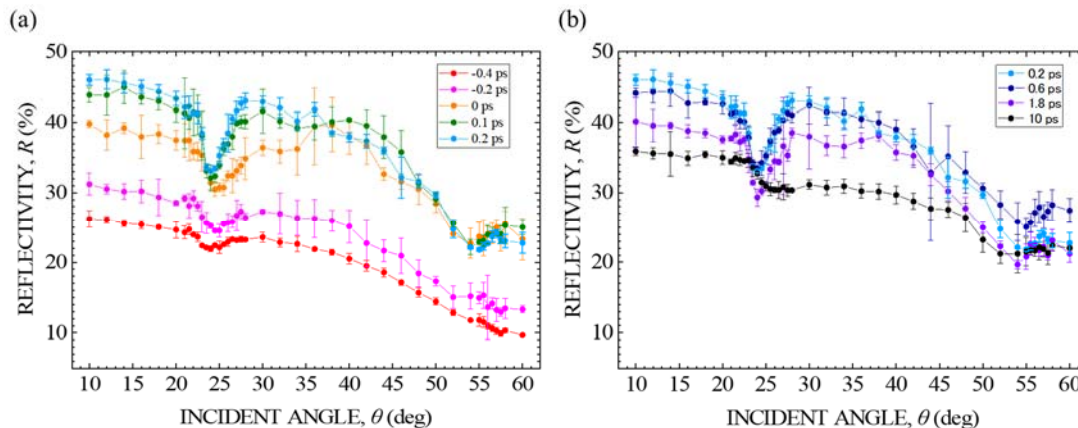


図3 遅延時間を変えて測定した Si 回折格子の反射率。(a) $\Delta t = -0.4\text{--}0.2$ ps (b) $\Delta t = 0.2\text{--}10$ ps。

SPR 曲線の変化の物理的起源を議論するため、モデルターゲットと RCWA 法を用い、 θ を関数として R を計算した。高強度の fs レーザーパルスにより Si 回折格子に自由電子が生成され、誘電率 ϵ_{Si} がドローデモデルにしたがって変調を受けるとすると、変調後の比誘電率 ϵ は

$$\epsilon = \epsilon_{\text{Si}} - \omega_p^2 / (\omega^2 + i\omega/\tau_D)$$

と表すことができる。ここで、 $\omega_p^2 = e^2 N_e / (\epsilon_0 m_{\text{opt}}^* m)$ はプラズマ周波数、 $\epsilon_{\text{Si}} = 13.5 + i0.0384$ は Si のレーザー未照射時の誘電率、 N_e は電子密度、 ω は入射光の角振動数、 ϵ_0 は真空の誘電率、 e は電気素量、 m は電子の質量、 $m_{\text{opt}}^* = 0.18$ は光学比有効質量、 $\tau_D = 1$ fs は緩和時間である。また、比誘電率 ϵ_a 、 ϵ_b を持つ 2 つの物質の界面に SPP が励起される条件は $\text{Re}[\epsilon_a] \times \text{Re}[\epsilon_b] < 0$ である。これより、Si 回折格子表面に SPP が励起されるためには $N_e > 0.51 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ であることが必要である。

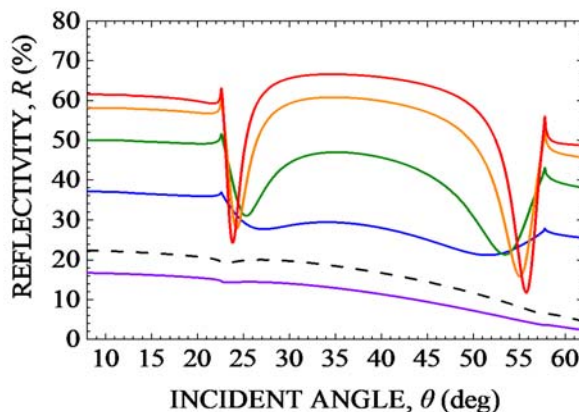


図4 自由電子密度 N_e を有する Si 回折格子の反射率の計算結果。未照射 $N_e = 0$ (黒破線)、 $N_e = 0.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (紫)、 $0.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (青)、 $1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (緑)、 $1.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (橙)、 $2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (赤)。

図4は、大気(比誘電率1)中においた電子密度 N_e を有する Si 回折格子(比誘電率 ϵ) 表面の反射率の計算結果 R_{cal} を示している。これまで、高強度の fs パルスの照射により、Si 表面内には F の増加にともなって N_e が増加する一方、 $N_e = 1\text{--}2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ で飽和することが報告されている。そのため、 $N_e = 0.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ における R と、比較のためにレーザー未照射時 ($N_e = 0$) の R をプロットした。 $N_e = 0.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ では表面が金属化していないため未照射の R よりも低い。 $N_e = 0.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ では金属化することにより、未照射時よりも R は増加することに加え、 $\theta = 27^\circ$ で変調率 $\alpha \sim 22\%$ の浅い R のディップが見られる一方、 $N_e = 1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ では $\theta = 25^\circ$ で $\alpha \sim 33\%$ の明瞭なディップが現れるようになる。さらに $N_e = 2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ では $\theta = 23.5^\circ$ で $\alpha \sim 61\%$ の非常に深いディップが見られる。以上のことから、電子密度 N_e の増加にともなって、ディップの θ は減少し、変調率 α は大きくなることわかる。この傾向は実験結果とよく一致している。さらに、ディップ周辺の SPR 曲線の幅 $\Delta\theta$ とディップが現れる入射角 θ_{SPP} に注目して図4に示す $\Delta t = 0.2$ ps の実験結果と

計算結果とを比較すると、 $F=1\text{ J/cm}^2$ の Pulse 1 の照射による電子密度は $N_e=1.5\text{--}2\times 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ と見積もられる。一方、ディップ周辺を除く SPR 曲線は、実験結果 R よりも計算結果 R_{cal} の方が $\sim 30\%$ ほど大きい。これは、計算では深さ方向に均一に N_e が分布するモデルターゲットを用いたためだと考えられる。実験ではレーザー照射によって Si 回折格子の表面から深さ 10 数 nm にわたって誘電率が空間変調されていると考えられ、これらの状況の違いによって R が異なると考えられる。

高強度 fs レーザーパルスと遅延時間を与えた低強度 fs レーザーパルスを Si 回折格子に入射角を変えて集光・照射し反射率を測定した。得られた実験結果とモデル計算の結果により、高強度 fs レーザーパルスによって過渡的に金属化された Si 回折格子表面に、低強度の fs レーザーパルスで SPP を励起できることを初めて実証した。また、励起される SPP の振幅、波長、伝搬長が fs レーザーパルスの遅延時間によって変化すること、Pulse 1 のパルス照射直後に最大振幅の SPP を励起できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takaya Tatsuyoshi、Miyaji Godai、Takahashi Issei、Richter Lukas Janos、Ihlemann Juergen	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication of Periodic Nanostructures on Silicon Suboxide Films with Plasmonic Near-Field Ablation Induced by Low-Fluence Femtosecond Laser Pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1495 ~ 1495
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano10081495	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 宮地悟代	4. 巻 10
2. 論文標題 フェムト秒レーザ誘起プラズモニック近接場アブレーションによる表層加工	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 スマートプロセス学会誌	6. 最初と最後の頁 46 ~ 52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Y.Tamamura and G.Miyaji	4. 巻 9
2. 論文標題 Structural coloration of a stainless steel surface with homogeneous nanograting formed by femtosecond laser ablation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Mater. Express	6. 最初と最後の頁 2902, 2909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OME.9.002902	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 Nikaido Seiya, Natori Takumi, Saito Ryo, Miyaji Godai	4. 巻 8
2. 論文標題 Nanostructure Formation on Diamond-Like Carbon Films Induced with Few-Cycle Laser Pulses at Low Fluence from a Ti:Sapphire Laser Oscillator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 535-535
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano8070535	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 Godai Miyaji, Masato Hagiya	4. 巻 58
2. 論文標題 Reduced damping of surface plasmon polaritons on silicon with intense femtosecond laser pulse	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys. Rapid Communication	6. 最初と最後の頁 050916-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab13db	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22件(うち招待講演 13件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 G.Miyaji
2. 発表標題 Direct nanofabrication on solids with plasmonic near-field ablation induced by femtosecond laser pulses
3. 学会等名 39th International congress on applications of lasers & electro-optics (ICALEO 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y.lida, G.Miyaji, and S.Nikaido
2. 発表標題 Formation of sub-100 nm periodic nanostructure on DLC with few-cycle laser pulses at low fluence
3. 学会等名 LAMOM XXVI in Photonics West 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮地悟代
2. 発表標題 フェムト秒レーザー誘起プラズモニック近接場アブレーションによる直接ナノ加工とその応用
3. 学会等名 先進機能性表面・構造を創出するレーザー表層加工研究会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮地悟代, 萩谷将人
2. 発表標題 高強度フェムト秒レーザー照射による非金属表面への表面プラズモンの励起
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯田悠斗, 宮地悟代, 二階堂誓哉
2. 発表標題 数サイクルレーザーパルスで励起される表面プラズモン・ポラリトンによる表面ナノ周期構造生成
3. 学会等名 応用物理学会第5回フォトニクスワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯田悠斗, 宮地悟代, 二階堂誓哉
2. 発表標題 数サイクルレーザーパルスで励起される短距離伝搬型表面プラズモン・ポラリトンによる表面ナノ周期構造生成
3. 学会等名 レーザー学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮地悟代
2. 発表標題 周期構造はなぜできるのか? 使える形状にできるのか?
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム「T4 レーザー誘起ナノ周期構造の本質と展望に迫る」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立田実花, 飯田悠斗, 宮地悟代
2. 発表標題 高強度フェムト秒レーザーにより過渡的に金属化したSiへの表面プラズモン・ポラリトンの励起
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 飯田悠斗, 立田実花, 宮地悟代
2. 発表標題 高強度フェムト秒レーザー照射によりシリコン回折格子へ過渡的に励起された表面プラズモンの観測
3. 学会等名 電気学会 光・量子デバイス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮地悟代
2. 発表標題 低フルーエンス数サイクルレーザーパルスによるDLC表面へのナノ構造生成
3. 学会等名 第91回レーザー加工学会講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮地悟代
2. 発表標題 フェムト秒レーザー誘起プラズモニック近接場によるナノ加工
3. 学会等名 電気学会c部門大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤諒, 宮地悟代
2. 発表標題 超短パルスレーザーのための環状ビーム変換器とその出力特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮地悟代
2. 発表標題 フェムト秒レーザーによる表面プラズモンの過渡励起とナノ加工
3. 学会等名 超高速光工学研究委員会第1回研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤諒, 下地裕也, 宮地悟代
2. 発表標題 アキシコンミラーを用いた非回折超短パルスレーザーの出力特性
3. 学会等名 レーザー学会第539回研究会「レーザー計測とその応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G.Miyaji
2. 発表標題 Observation of surface plasmon polaritons on nonmetallic materials excited with intense femtosecond laser pulses
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y.Shimoji and G.Miyaji
2. 発表標題 A high-efficiency ring beam converter with axicon mirror
3. 学会等名 The 7th Advanced Lasers and Photon Sources 2018(ALPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G.Miyaji
2. 発表標題 Excitation of surface plasmon polaritons on non-metallic materials with intense femtosecond laser pulses and its application to nano-processing
3. 学会等名 LPM2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G.Miyaji, S.I.Kudryashov, and S.V.Zabotnov
2. 発表標題 Controlling of plasmon damping on nonmetallic gratings excited with intense femtosecond laser pulses
3. 学会等名 International Conference on Ultrafast Optical Science (UltrafastLight-2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.I.Kudryashov, P.A.Danilov, L.V.Nguyen, S.V.Zabotnov, I.N.Saraeva, N.I.Busleev, A.A.Rudenko, G.Miyaji, and A.A.Ionin
2. 発表標題 Manipulation by surface plasmon resonances: optical and materials aspects
3. 学会等名 International Conference on Ultrafast Optical Science (UltrafastLight-2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 G.Miyaji, M.Hagiya, and D.Moriyama
2 . 発表標題 Characterization of surface plasmons inducing nanoablation on nonmetallic materials excited with intense femtosecond laser pulses
3 . 学会等名 Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XIX in Photonics West 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Takaya, G. Miyaji, J. Ihlemann, and L.J. Richter
2 . 発表標題 Nanostructure formation on Silicon suboxide with plasmonic near-field ablation induced by femtosecond laser pulses
3 . 学会等名 CLEO-EUROPE 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 G. Miyaji, S. Nikaido, T. Natori, and R. Saito
2 . 発表標題 Origin of fluence dependence of periodicity in nanostructuring on diamond-like carbon films with femtosecond laser pulses
3 . 学会等名 International Conference on Ultrafast Optical Science (UltrafastLight-2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京農工大学 宮地研究室ホームページ
<https://miyalab.themedia.jp/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
ドイツ	Institut fur Nanophotonik Goettingen			
ロシア連邦	P. N. Lebedev Physical Institute			