

令和 5 年 5 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05359

研究課題名（和文）周期構造の非伝搬モードによる量子ドットのプラズモン発光増強と白色レーザーへの応用

研究課題名（英文）Plasmonic light emission enhancement of quantum dots by non-propagating mode of periodic structure and application to white laser

研究代表者

元垣内 敦司（Motogaito, Atsushi）

三重大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00303751

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では青レーザー光と緑、赤色で発光する量子ドットと金属回折格子の相互作用である表面プラズモン共鳴を利用した白色レーザーを実現することを最終目標として研究を行った。

非伝搬モードを利用して量子ドットの発光増強を実現するところまではできなかったが、研究期間全体を通じて、非伝搬モードについては、非伝搬モードの物理的な挙動解明、Auの1次元回折格子からなる表面プラズモンセンサーを作製し、実験での非伝搬モードの実証を行うことができた。一方、量子ドットの発光増強については、表面プラズモン共鳴に起因すると考えられるAl薄膜上でのInP/ZnS量子ドットの発光増強を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して、非伝搬モードという定在する伝搬型表面プラズモンが発生するメカニズムを明らかにすることができて、表面プラズモンに関する新たな学術的知見を得ることができた。また、非伝搬モードを使った量子ドットの発光増強まで研究を進めることができなかったものの、金属薄膜上に量子ドットを塗布すると、発光増強が確認できたので、本研究の成果である非伝搬モードを用いることで顕著な量子ドットの発光増強が確認できれば、白色LED照明に変わる新たな照明デバイスへの応用に期待が持てると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, the ultimate goal is to realize a white laser using surface plasmon resonance, which is the interaction of blue laser light, green and red light emitting quantum dots, and metal diffraction gratings.

Although we were not able to use the non-propagating mode to enhance the luminescence of quantum dots, we continued to explore the physical behavior of the non-propagating mode and the one-dimensional diffraction grating of Au throughout the research period. We fabricated a surface plasmon sensor consisting of Au. On the other hand, we confirmed the emission enhancement of InP/ZnS quantum dots on the Al thin film, which is thought to be caused by surface plasmon resonance.

研究分野：ナノ光学、照明工学、オプトエレクトロニクス

キーワード：表面プラズモン共鳴 伝搬型表面プラズモン 非伝搬モード ファノ共鳴 金属回折格子 量子ドット 発光増強 白色光源

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

白色レーザーを実現する方法には①青色半導体レーザー（LD）と黄色のイットリウムアルミニウムガーネット（YAG）蛍光体を組み合わせて実現する方法、②赤、緑、青色のレーザー光で実現する方法がある。しかしながら、これらの方法には図1に示すような問題点がある。①の方法では蛍光体は厚い光拡散板になるため、指向性が悪くなることが問題で、可視光通信、プロジェクタヘッドライトには使いにくい。更に、青色と黄色で白色を実現するので色再現性が悪くなることも問題で、演色性が必要となる水中照明や一般用照明への応用には制限がある。一方、②の方法は赤、緑、青色の強度の調整を個々の電源回路で行う必要があるため、色再現性が悪くなることとデバイスの大型化が問題である。この問題を解決するために、本研究では青レーザー光と緑、赤色で発光する量子ドットと金属回折格子の相互作用である表面プラズモン共鳴を利用した白色レーザーを実現することを目指す。表面プラズモン共鳴とは光の電界振動と金属中の自由電子の集団振動が共鳴した現象で、通常金属回折格子を用いた場合、金属と誘電体界面を伝搬する伝搬型表面プラズモン共鳴が発生する。しかし表面プラズモン共鳴で発光増強を行う場合、量子ドットの近傍に表面プラズモンを局在させることが必要である。申請者は金属回折格子を用いた伝搬型表面プラズモン共鳴に関する研究を行ってきたが、垂直入射で光を入射させると、分散曲線より、波数が0で、あたかも局在型表面プラズモン共鳴的なモードが発生する条件があること、即ち波数が0で伝搬しない伝搬型表面プラズモン共鳴（以下、非伝搬モードと呼ぶ。）が実現できることを見出した。これまで金属回折格子を用いた表面プラズモン共鳴は金属と誘電体界面で励起する伝搬型の表面プラズモンポラリトンについて研究されてきたが、金属回折格子を伝搬しない表面プラズモンモードについての研究は全くない。そこで本研究では世界で初めて金属回折格子の非伝搬モードの表面プラズモン共鳴を実験と理論で明らかにして、それを積極的に利用して白色光の発光増強を実現する。この方法には次の3つの利点がある。①量子ドットの発光波長を量子ドットのサイズで決めることができるので、適切な発光波長の量子ドットを組み合わせることにより色再現性に優れた白色光を実現できる。②非伝搬モードを用いることで、量子ドットで発光した光を金属回折格子の金属部分に局在している表面プラズモンと共鳴して増強が実現できるだけでなく、周期構造の形状によって発光特性を制御できる。③金属回折格子構造では金属と金属の間を表面プラズモン共鳴による異常透過現象で強い光を取り出すことができる。

以上より、量子ドットと金属回折格子により非伝搬モードを用いたプラズモン共鳴の発現及びこれによる発光増強について実験と理論から明らかにすることが本研究における学術的課題である。

2. 研究の目的

本研究では、以上のような背景、学術的課題を踏まえ、①金属回折格子における非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の存在を明らかにすること、②非伝搬モードを用いた量子ドットのプラズモン発光増強の実現、③非伝搬モードを用いた量子ドットのプラズモン発光増強を用いた白色レーザーへの応用を目的として研究を行う。

3. 研究の方法

本研究では、目的に対して次の2点を中心に行った。最初に金属回折格子における非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の挙動解明と実験による実証を行った。次に表面プラズモン共鳴による量子ドットの発光増強の確認を行う実験を行った。

（1）金属回折格子における非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の挙動解明と実験による実証

厳密波結合解析（RCWA）法を用いて、図1に示すような石英ガラス基板上へのAuの1次元回折格子構造に液体媒質を接触させ、石英ガラス基板側から光を入射したときの透過率の波長スペクトルと入射角度スペクトルを調べる。シミュレーションのパラメータはAu 1次元回折格子の構造周期（ P ）、金細線間の幅（ $W=P/2$ ）、Auの厚さ（ h ）、光の入射角度（ θ ）、光の波長である。次にこれらの結果を踏まえて、非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の挙動を明らかにするために、RCWA法により透過率マッピングと電場ベクトルの分布図を作成した。

更に、非伝搬モードの表面プラズモン共鳴が発生していることを実験で実証するために、図1に示すAuの1次元回折格子構造を電子線描画、リフトオフ、スパッタリングにより作製した。石英ガラス基板に屈折率が1.70の屈折率標準液を用いて、この溶液をAuの回折格子と接触させた状態で光を照射し、透過率の波長スペクトルと入射角度スペクトルを測定し、シミュレーション結果との比較を行った。

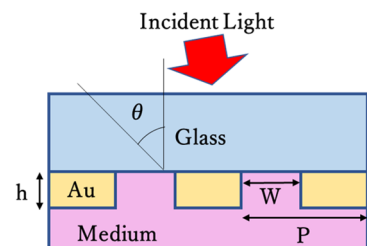


図1 Au 1次元回折格子の模式図

(2) 表面プラズモン共鳴による量子ドットの発光増強の確認
量子ドットは 530nm で発光する InP/ZnS コアシェル型量子ドット 10mg を 10g の紫外線硬化樹脂に分散させたものを用いた。これを図 2 に示すように石英ガラス基板と石英ガラス基板に Al を 90nm 蒸着させた基板にスピコートで量子ドットを塗布して、紫外線照射により紫外線硬化樹脂を硬化させてから、発光波長 450nm の青色レーザーと 405nm の紫色レーザーを照射して、発光スペクトルを測定した。



図 2 InP/ZnS 量子ドット発光特性評価試料の模

4. 研究成果

(1) 金属回折格子における非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の挙動解明と実験による実証
構造周期：400 nm、Au 膜厚：40nm の一次元 Au 回折格子構造において、屈折率 1.70 の液体媒質を用いた際の各入射波長(620 nm、680 nm、740 nm)における透過率の入射角度依存性と透過率カラーマッピングを図 3 に示す。Au-ガラス基板界面（黒丸破線）及び Au-液体媒質界面（赤丸破線）における表面プラズモン共鳴によって、各入射波長においてそれぞれに透過率のピークが確認できる。また、入射波長によって Au-液体媒質界面における表面プラズモン共鳴の励起角度

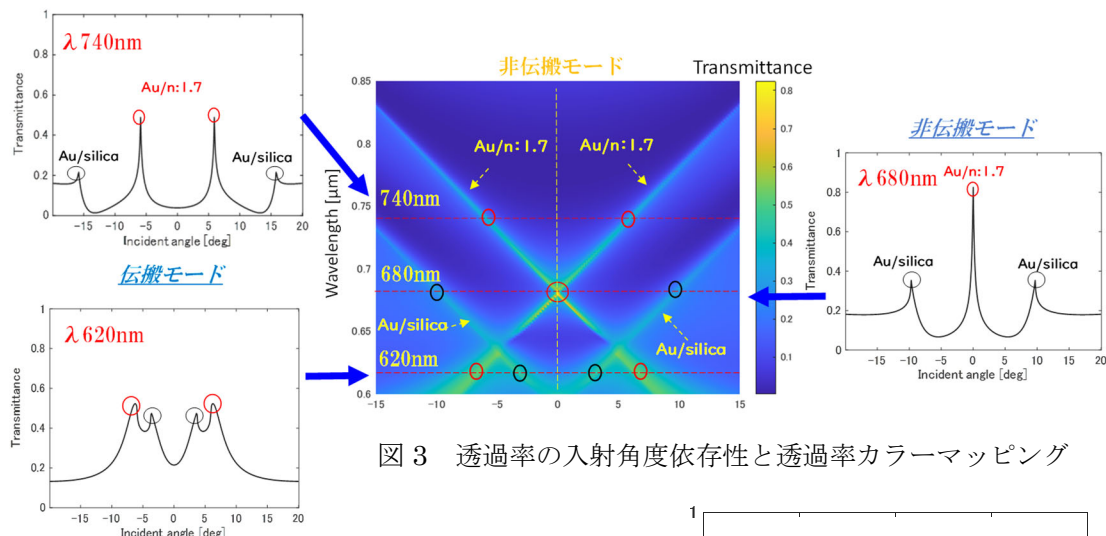


図 3 透過率の入射角度依存性と透過率カラーマッピング

の変化も確認できる。更に、入射波長 680 nm においては入射角 0° にて共鳴点をもち、最も高い透過率が得られることを確認した。表面プラズモンの分散関係から、この入射角度 0° での透過率のピークが、局在する伝搬型表面プラズモンポラリトン、即ち非伝搬モードの表面プラズモンポラリトンに起因したピークであると考えられる。図 3 の中央にある入射波長と入射角度に対する透過率カラーマッピングからも、透過率が高い黄色い線が 4 本見えるが、これらは Au-ガラス基板 (silica) 界面 及び Au-液体媒質 ($n=1.70$) 界面で発生する表面プラズモン共鳴に起因した透過率の高い共鳴線が確認できる。図 4 に、図 3 の透過率マッピングにおいて、Au-液体媒質 ($n=1.70$) 界面での表面プラズモン共鳴線上での入射角度と透過率の関係のシミュレーション結果を示す。入射角度 0° (波長 680 nm) で共鳴点を持つ非伝搬モードの表面プラズモン共鳴にて、透過率の急峻なピークが確認できた。これは、入射波長 680 nm においては入射角 0° にて Au-液体媒質界面の 2 本の共鳴線が交差しており、これらが強め合うことにより、非伝搬モードで最も透過率が上昇したと考えられる。よって、透過率は入射角度 0° 以外の伝搬型の表面プラズモン共鳴より非伝搬モードの方が優位性をもつと考えられる。

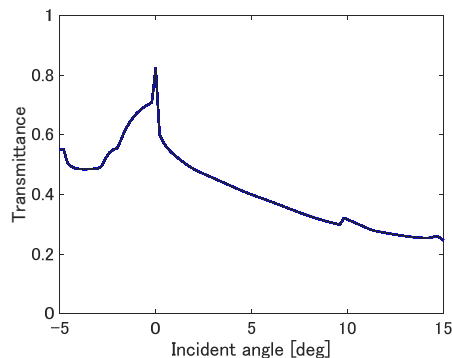


図 4 Au-液体媒質 ($n=1.70$) 界面での表面プラズモン共鳴線上での入射角度と透過率の関係

次に、非伝搬モードの挙動を解明するために、金属回折格子近傍における電場分布及び電場ベクトルの向きの分布を RCWA 法により求め、非伝搬モードの挙動を考察した。図 5 に入射角度が 0° と 9.9° における磁場の振幅分布を示す。カラーバーは磁場の振幅の値を示す。図 5 では入射角度に寄らず、同じような磁場分布を示しているように見えるが、磁場分布の時間変化を調べると入射角度 0° の方が入射角度 9.9° より金属回折格子を通過した後の磁場の強度が強く、時

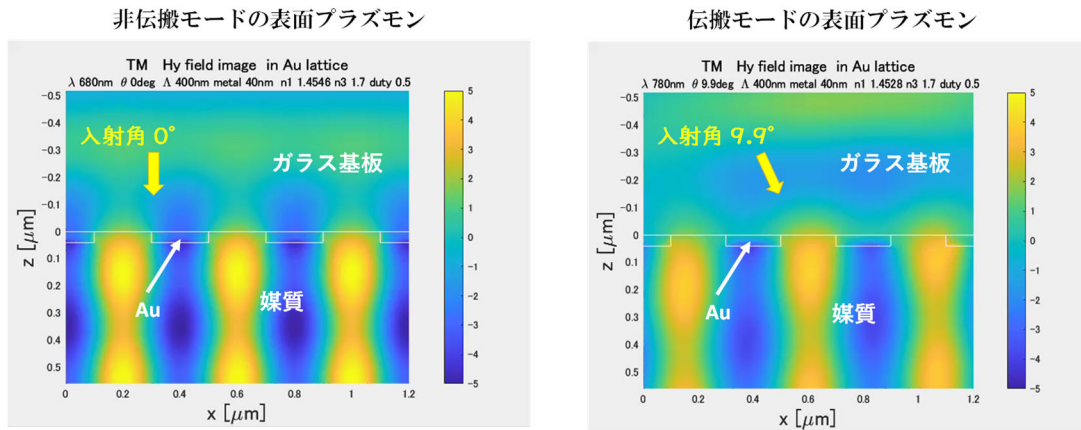


図 5 非伝搬モードと伝搬モードにおける Au 1 次元回折格子近傍の磁場分布

間に寄らず局在して定在波になっていることがわかった。一方、入射角度 9.9° では金属と媒質の界面に沿って磁場が伝搬していることがわかった。図 6 に入射角度 0° における電場強度と電場ベクトル分布図を示す。図中の赤い矢印は電場ベクトルの向きを表す。カラーバーは電場強度を示す。まず TM 偏光の入射光による x 方向電場により、隣り合う Au の端部で電気双極子が発生することで、局在型表面プラズモンポラリトンが励起していると考えられる。次に、この電気双極子によって z 方向（出射方向）の電場が発生し、これにより伝搬型表面プラズモンポラリトンが励起され、伝搬型 SPP と液体媒質への出射光が結合するファノ共鳴による異常透過が起きると考えられる。非伝搬モードでは、垂直入射であることによってファノ共鳴が増長されることで、局在型 SPP と伝搬型 SPP の共鳴が促進されていると考えられる。また、励起された伝搬型 SPP が定在することで、入射角度 0° 以外の際の伝搬型の表面プラズモン共鳴より高い透過率が得られたと考えられる。

以上のシミュレーション結果とそこから得られた考察を実験で実証するために、Au 1 次元回折格子を作製し、屈折率 1.7 の液体媒質を接触させた状態で光を照射し、透過率の波長スペクトルと入射角度スペクトルを測定した。図 7 に作製した Au 一次元回折格子の表面からの走査電子顕微鏡像を示す。この図より、構造周期や Au 細線幅ともに設計通りに作製することができた。作製した Au 一次元回折格子構造において、屈折率 1.70 の液体媒質を用いた際の、入射波長 (670 nm) に対する透過率の入射角度依存性の測定結果を図 8 に示す。測定結果はシミュレーション結果同様に、Au - ガラス基板界面 ($\pm 10^\circ$ 付近) 及び Au - 液体媒質界面 ($\pm 1^\circ$ 付近) における表面プラズモン共鳴によって、透過率のピークを確認することができた。更に作製した Au 一次元回折格子構造において、屈折率 1.70 の液体媒質を用いて光を垂直入射した際の、透過率の波長依存性の測定結果を図 9 に示す。測定結果はシミュレーション結果同様に、Au-ガラス基板界面 (585 nm 付近) 及び Au-液体媒質界面 (680 nm 付近) における表面プラズモン共鳴によって、透過率のピークを確認することができた。以上から、屈折率 1.70 における非伝搬モードによる表面プラズモンセンサーの動作を実証することができた。以上の実験結果より、非伝搬モードの表面プラズモン共鳴の励起とそのメカニズムについて、表面

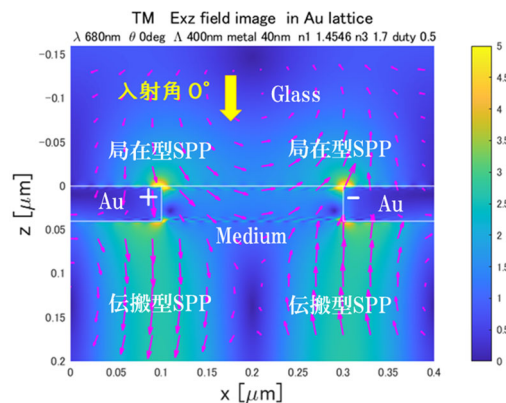


図 6 非伝搬モードにおける電場強度と電場ベクトルの分布図

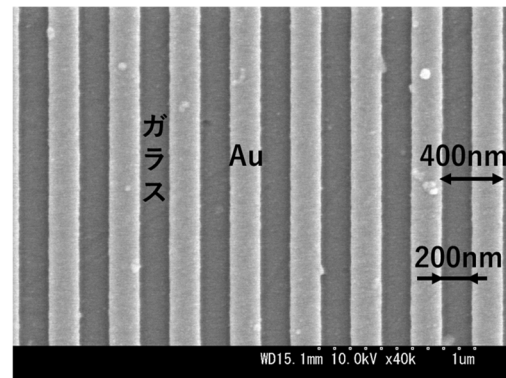


図 7 作製した Au 1 次元回折格子の表面 SEM 像

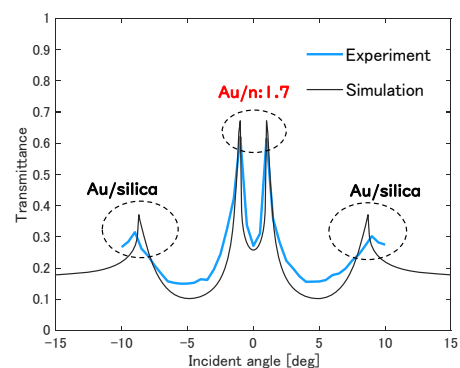


図 8 入射波長 (670 nm) に対する透過率の入射角度依存性の測定結果

プラズモンセンサーのシミュレーションと実験を通して明らかにすることができた。

(2) 表面プラズモン共鳴による量子ドットの発光増強の確認

図2で示したガラス基板とガラス基板上にAl薄膜を堆積させた基板にInP/ZnS量子ドットを塗布した資料の発光スペクトルを測定した。図10(a)(b)に励起波長が405nmと450nmにおける発光スペクトルを示す。励起波長405nmのピーク波長はガラス基板上で540nm、Al薄膜上で541.5nm、ガラス基板上に対するAl薄膜上のピーク強度比1.52倍であった。励起波長450nmのピーク波長はガラス基板上で556.5nm、Al薄膜上で554.5nm、ガラス基板上に対するAl薄膜上のピーク強度比2.41倍であった。Alを堆積すると、1.5倍～2.4倍程度発光強度が増強されることがわかった。発光増強が起きた原因として、1つは本研究の目的でもある表面プラズモン共鳴による量子ドットの発光増強がされていると考えられる。もう1つは量子ドットの下部にAl薄膜があるため反射光がさらに量子ドットを励起しているものと考えられる。これらの結果と(1)で述べた非伝搬モードでの表面プラズモン共鳴を組み合わせることで、量子ドットの更なる発光増強が期待できるものと考えられる。

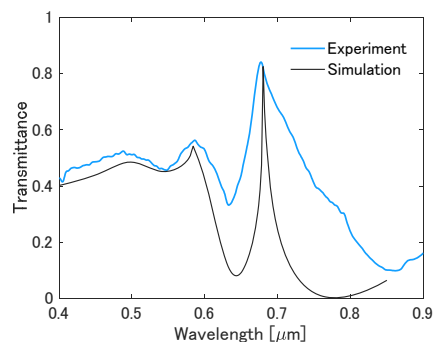


図9 垂直入射時の透過率の波長依存性の測定結果

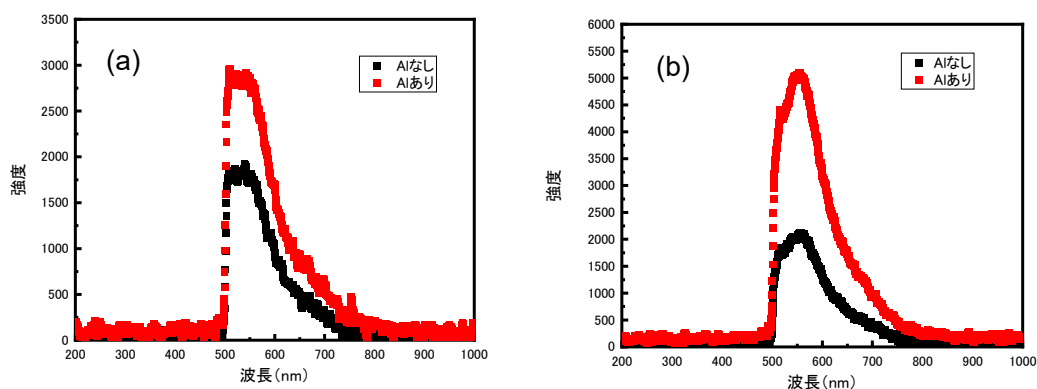


図10 InP/ZnS量子ドットの発光スペクトル

(a) 励起波長405nm、(b) 励起波長450nm

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 3件）

1. 著者名 Atsushi Motogaito, Yukino Hayashi, Akinori Watanabe, Kazumasa Hiramatsu	4. 巻 12
2. 論文標題 Fabrication of Polarization Control Devices Using Metal Grating Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics and Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 201～213
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/opj.2022.129015	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 Atsushi Motogaito, Seigi Shimizu, Karen Akatsuka, Kazumasa Hiramatsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of Wavelength-Selective Visible-Absorbing Filter for 405-nm by Surface Plasmon Resonance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim	6. 最初と最後の頁 P_CM16_16
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 元垣内敦司、清水清義、赤塚かれん、田中凌雅、平松和政	4. 巻 122
2. 論文標題 表面プラズモン共鳴による近紫外・可視光波長選択光吸収体の作製	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 44～49
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 無
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 Atsushi Motogaito, Ryoga Tanaka, Kazumasa Hiramatsu	4. 巻 17
2. 論文標題 Fabrication of perfect plasmonic absorbers for blue and near-ultraviolet lights using double-layer wire-grid structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the European Optical Society-Rapid Publications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s41476-021-00151-0	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 Atsushi Motogaito, Yukino Hayashi, Akinori Watanabe, Kazumasa Hiramatsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of Polarization Control Devices using Metal Grating Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Technical Digest of the Twenty-Sixth Microoptics Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/MOC52031.2021.9598022	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 Atsushi Motogaito, Ryoga Tanaka, Kazumasa Hiramatsu	4. 巻 238
2. 論文標題 Fabrication and characterization of plasmonic band-stop filter using Ag grating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 05006 ~ 05006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202023805006	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12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Atsushi Motogaito, Seigi Shimizu, Karen Akatsuka, Kazumasa Hiramatsu
2. 発表標題 Fabrication of Wavelength-Selective Visible-Absorbing Filter for 405-nm by Surface Plasmon Resonance
3. 学会等名 The 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 元垣内敦司、清水清義、赤塚かれん、田中凌雅、平松和政
2. 発表標題 表面プラズモン共鳴による近紫外・可視光波長選択光吸収体の作製
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2022年

1．発表者名 原田旺堯、平松和政、元垣内敦司
2．発表標題 金属回折格子における非伝搬モードを用いた表面プラズモンセンサーの作製
3．学会等名 第83回応物秋季学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 原田旺堯、平松和政、元垣内敦司
2．発表標題 金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーでの非伝搬モードの挙動
3．学会等名 日本光学会年次学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 赤塚かれん、平松和政、元垣内敦司
2．発表標題 AIのナノホールアレイを用いた近紫外光波長選択吸収体の設計
3．学会等名 日本光学会年次学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 Motogaito Atsushi、Hayashi Yukino、Watanabe Akinori、Hiramatsu Kazumasa
2．発表標題 Fabrication of Polarization Control Devices using Metal Grating Structures
3．学会等名 the Twenty-Sixth Microoptics Conference (国際学会)
4．発表年 2021年

1．発表者名 中川翔輝、平松和政、元垣内敦司
2．発表標題 高開口数の焦点分布制御型回折レンズの設計と作製
3．学会等名 日本光学会年次学術講演会
4．発表年 2021年

1．発表者名 Atsushi Motogaito, Ryoga Tanaka and Kazumasa Hiramatsu
2．発表標題 Fabrication and characterization of plasmonic band-stop filter using Ag grating
3．学会等名 European Optical Society Annual Meeting 2020（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Atsushi Motogaito
2．発表標題 Study on the fabrication and the optical characterization of the nano-order periodic structure
3．学会等名 The 22nd Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium（招待講演）（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 伊藤 峻汰、平松 和政、元垣内 敦司
2．発表標題 金属回折格子における非伝搬モードの表面プラズモン共鳴と量子ドットの発光
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 林 優貴乃、平松和政、元垣内敦司
2. 発表標題 金属回折格子による伝搬型表面プラズモン共鳴を用いた波長板
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水清義、平松和政、元垣内敦司
2. 発表標題 二層型ワイヤグリッド構造における表面プラズモン共鳴を用いた狭帯域可視光完全吸収体
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 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

三重大学 オプトエレクトロニクス研究室 光制御・ライティンググループ ホームページ https://www.opt-lighting.elec.mie-u.ac.jp/index.html 三重大学 オプトエレクトロニクス研究室 光制御・ライティンググループ Facebookページ https://www.facebook.com/mie.optics.lighting/ 三重大学 光制御・ライティンググループ twitterアカウント https://twitter.com/OpticsMie optlightmie Instagramアカウント https://www.instagram.com/optlightmie/ optics-lighting mie YouTubeチャンネル https://www.youtube.com/channel/UC4Y7QszB3Z2PQpKa1sc1t4g オプトエレクトロニクス研究室 光制御・ライティンググループ ホームページ https://www.opt-lighting.elec.mie-u.ac.jp/index.html 光制御・ライティンググループ Facebookページ https://www.facebook.com/mie.optics.lighting/ 光制御・ライティンググループ Twiterアカウント https://twitter.com/OpticsMie 光制御・ライティンググループ Instagramアカウント https://www.instagram.com/optlightmie/ 光制御・ライティンググループ YouTubeチャンネル https://www.youtube.com/channel/UC4Y7QszB3Z2PQpKa1sc1t4g

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
研究協力者	平松 和政 (Hiramatsu Kazumasa)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	加藤 剛士 (Kato Takeshi)		
研究協力者	大島 大樹 (Ohshima Daiki)		
研究協力者	大住 克史 (Ohsumi Katsufumi)		
研究協力者	伊藤 峻汰 (Ito Ryota)		
研究協力者	林 優貴乃 (Hayashi Yukino)		
研究協力者	清水 清義 (Shimizu Seigi)		
研究協力者	中川 翔輝 (Nakagawa Shoki)		
研究協力者	原田 旺堯 (Harada Akitaka)		

6．研究組織（つづき）

	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
研究協力者	赤塚 かれん (Akatsuka Karen)		
研究協力者	中川 拓海 (Nakagawa Takumi)		
研究協力者	松野 龍人 (Matsuno Ryuto)		

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