

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04801

研究課題名（和文）遷移金属窒化物を用いた光励起ホットキャリアエンジニアリング

研究課題名（英文）Optically excited hot carrier engineering with transition metal nitrides

研究代表者

石井 智 (ISHII, Satoshi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主任研究員

研究者番号：80704725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,600,000円

研究成果の概要（和文）：窒化チタンを含む遷移金属窒化物に光照射することで、光誘起電荷を生成できる。本研究では、遷移金属窒化物の光誘起電荷を光電変換と光熱変換に応用し、機能開拓することを目指した。光電変換では、窒化チタンや窒化ジルコニウムのナノ構造を光触媒に担持させることで、光誘起電荷を用いた光触媒の可視活性向上を実証した。また、非金属材料としては初めてプラズモエレクトリック効果を窒化ジルコニウムナノ構造にて観測することに成功した。光熱変換では主に窒化チタンナノ構造を用いることで、太陽熱蒸留を最大92%の効率で行えることを実証した。加えて、窒化チタンナノ構造の光熱変換時の表面温度を実験と計算から評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光励起電荷を用いた光電・光熱変換は、従来は金や銀などの貴金属を用いて行われてきた。他方、本研究では貴金属より安価で資源的に豊富に存在する遷移金属窒化物を用いて、光励起電荷を用いた光電・光熱変換ができることを実証した。更に太陽光を対象とした光触媒や太陽熱蒸留では、遷移金属窒化物を使った方が貴金属より高い変換効率を示すことも示した。そのため、遷移金属窒化物を用いることで、光誘起電荷を用いた光電・光熱変換の研究や応用が更に発展することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Transition metal nitrides (TMNs) which include titanium nitride (TiN) and zirconium nitride (ZrN) generate hot carriers by optical irradiation. In the current work, hot carriers excited in TMNs were applied to photoelectric and photothermal conversions. Regarding photoelectric conversions, TiN or ZrN nanostructures formed heterostructure to photocatalysts to improve the visible photocatalytic activities. Plasmoelectric effects were observed in ZrN for the first time in non-metallic materials. The works on photothermal conversions include solar water heating with TiN nanostructures which recorded 92 % efficiency. The surface temperature of TiN under optical irradiation were also studied experimentally and numerically.

研究分野：ナノ光学

キーワード：光熱変換 光電変換 ナノ構造 光励起電荷 遷移金属窒化物 太陽光 太陽熱

### 1. 研究開始当初の背景

2000年代後半から、金や銀のナノ構造に光を照射することで生成する光励起電荷を使い、光電変換や光熱変換を行う研究(ホットキャリアエンジニアリング)が盛んに行われていた。光電変換では、金属-半導体のヘテロ構造を作製することでサブバンドギャップの光子を利用することができるため、光励起電荷を用いた可視活性のある光触媒の開発や、シリコンをベースとした近赤外光検出器の開発など、数多くの研究が行われてきた。光熱変換では、金属ナノ構造に光を照射し光励起電荷が生成し緩和する過程で発生する熱を利用する。熱の発生が金属のナノ構造で起きるため、金属ナノ構造に光を照射することで、ナノスケールの熱源となる。このような局所加熱を応用して、癌の温熱治療や太陽熱蒸留などが検討されてきた。

金や銀を使ったホットキャリアエンジニアリングの研究が進むにつれ、いくつかの問題点が浮かび上がってきたのが2010年代である。一点目は、光励起電荷はプラズモン共鳴を励起していると発生効率が高くなるのだが、プラズモン共鳴を励起するためには効果で希少な金や銀を使う必要があることである。二点目は、光電変換も光熱変換も実用を考えたとき、変換効率が十分に高くないことである。これらの問題点のため、代替材料の検討が望まれていた。

### 2. 研究の目的

先述の研究背景を踏まえ、本研究では光励起電荷を生成する代替材料として窒化チタンや窒化ジルコニウムを含む遷移金属窒化物を選択した。プラズモン共鳴を励起する材料は貴金属以外に透明導電性酸化物やグラフェンなどが知られているが、これらは近赤外や中赤外でプラズモン共鳴を示す。他方、遷移金属窒化物はキャリア濃度が $10^{22}\text{cm}^{-3}$ 以上と金属並みに高いため、可視域にプラズモン共鳴を示す。また応募前に行った電磁場計算と実験による予備検討の結果、遷移金属窒化物は貴金属より光学損失が大きいと、貴金属と比べてより効率的に光励起電荷を生成できる可能性を見出していた。

研究開始当時、遷移金属窒化物から光励起電荷を生成しそれを光電変換や光熱変換に用いた研究例はごくわずかだった。そのため、本研究では遷移金属窒化物ナノ構造を用いたホットキャリアエンジニアリングを探索することを主眼に、種々の応用研究に取り組むことを目的とした。より具体的には、光電変換では光触媒の可視活性向上や光検出器の長波長化を目指した。加えて、プラズモエレクトリック効果の観測にも取り組んだ。光熱変換では、高効率な太陽熱蒸留の実証と、光熱変換時のナノ構造の温度測定を目指した。

### 3. 研究の方法

テーマ毎に研究方法が異なるため、それぞれについて以下に概説する。

#### (1) 遷移金属窒化物ナノ構造を用いた光触媒電極

金属を含まない光触媒である窒化炭素と窒化チタンナノ粒子との複合粉体は、これらを混合後加熱処理することによって得た。得られた粉体はナフィオンと混合し、ITOガラスに塗布して加熱することで光電気化学反応の電極とした。光電気化学反応の測定では、分光した光を照射することで、電極の分光感度を測定した。

#### (2) 近赤外光検出器

ゲルマニウムと窒化チタンとのヘテロ構造をスパッタ成膜によって作製し、光検出器とした。電極部分を形成し、且つ界面が真空中で形成されるようにするために、3回に分けて成膜を行った。作製した光検出器は、可視域はキセノンランプを分光した波長可変光源、近赤外域は波長可変レーザー、を用いて分光感度を評価した。

#### (3) プラズモエレクトリック効果の観測

窒化ジルコニウムのナノディスクアレイは、窒化ジルコニウム薄膜をスパッタ成膜した後、電子線リソグラフィとドライエッチングによって作製した。プラズモエレクトリック効果の観測は、ケルビンプローブ顕微鏡に波長可変光源を取付け、光照射前後の表面電位をそれぞれ測定し、その差をプラズモエレクトリック効果による表面電位とした。

#### (4) 太陽熱蒸留

アルミニウム箔の陽極酸化により、ポーラスアルミナを作製し、その表面に窒化チタンをスパッタ成膜することで表面を黒くした。発泡スチロールの真ん中に穴をあけ、その中に綿を通し、それを水面に浮かべ、その上に試料を乗せた。こうすることで、水と試料を発泡スチロールで断熱しつつ、綿の表面張力によって水を吸い上げ、試料下面を濡らすことができる。屋内で行った太陽熱蒸留の実験では、疑似太陽光を照射しながら、水の質量現象を電子天秤で測定することで水の蒸発量を見積もり、蒸発効率を算出した。

#### (5) 光熱変換時のナノ構造の温度測定

ナノ構造に光を照射した際、被照射部が光熱変換によってどの程度温度上昇するか見積もるために、顕微ラマン分光を用いた。本テーマで測定した試料は窒化チタンの薄膜とナノアレイで、スパッタ成膜後にナノインプリント法とエッチングによりパターン形成を行った。顕微ラマン分光による温度測定では、始めに窒化チタンのストークスピークの温度依存性を測定しておき、

ストークスピークのピークシフトと温度の関係性を求めた。その後、励起用レーザーの強度を上げながら顕微ラマン分光を行い、レーザー光強度に依存した試料の表面温度を事前に求めた関係式を用いて算出した。また、測定結果を検証する目的で、有限要素法による伝熱計算も行った。

#### 4. 研究成果

「3. 研究の方法」に対応する成果を以下に記載し、その概要を図1に示す。本成果から、遷移金属窒化物の方が従来用いられてきた金より効率で光電変換や光熱変換ができる場合があることが示された。今後、光電変換については界面制御、光熱変換については断熱設計の検討、を行うことで更に効率を高められるだろう。

##### (1) 遷移金属窒化物ナノ構造を用いた光触媒電極

窒化チタンナノ粒子を含む電極は、窒化チタンナノ粒子を含まない電極に比べて10倍以上可視域の光誘起電流が増大した。これは、窒化チタンナノ粒子から半導体である窒化炭素へ光誘起電荷(今回の場合はホットエレクトロン)が注入されたためと考えられる。窒化チタンナノ粒子の代わりに金ナノ粒子を含む電極も作製したが、窒化チタンナノ粒子を含む電極の方が金ナノ粒子を含む電極より大きな光誘起電流が得られた。その理由として、窒化チタンの方が金より仕事関数が小さいことと、光吸収量も多いことが考えられる。本結果から、窒化チタンナノ粒子は光触媒の可視活性を向上させるのに有用な材料であることが示された。

##### (2) 近赤外光検出器

窒化チタンとゲルマニウムのヘテロ構造から成る光検出器は、少なくとも波長2600nmまで感度があることが測定から分かった。用いた波長可変レーザーの制約のため2600nmまでしか測定できなかったが、ゲルマニウムのバンドギャップに相当する波長1800nmより長波長でも感度があり、1800nmより長波長の感度は窒化チタンからゲルマニウムへの光励起電荷注入に起因するものであると考えられる。本結果から、単純なヘテロ構造の導入により光検出器の長波長化が可能であることが示された。微細構造を作製することでヘテロ構造の光吸収率を高くなることが期待できる。

##### (3) プラズモエレクトリック効果の観測

外部光源とケルビンプローブ顕微鏡を組合わせた表面電位の測定から、窒化ジルコニウムのナノディスクアレイにおいて、プラズモエレクトリックポテンシャルを観測することに成功した。プラズモエレクトリックポテンシャルはプラズモン共鳴波長でゼロとなり、その前後の波長で符号が異なることが示唆されているが、その特徴もとらえることができた。

その解釈を深めるため、実験結果を再現するモデルを電磁気学と伝熱工学、熱力学を組合わせて構築し、実際に計算を行った。その結果、実測した表面電位と計算で求めた起電力の絶対値にはずれがあるものの、計算でもプラズモエレクトリック効果に特徴的な波長によって符号の異なる起電力を再現することができ、実験の妥当性を確認することができた。

##### (4) 太陽熱蒸留

太陽熱蒸留の効率を最適化するために、ポーラスアルミナの径や窒化チタンの膜厚の異なる試料を複数作製した。その結果、ポーラスアルミナの径が300nm、窒化チタンの膜厚は80nmの時太陽熱蒸留の効率が最大化することが分かった。疑似太陽光を照射した実験では、ポーラスアルミナと窒化チタンからなる構造は断熱構造と組み合わせることで、太陽熱蒸留の効率が92%であることが示された。効率は、入射太陽光エネルギーに対して水蒸留に使われたエネルギーとして定義したものである。今回の結果を元に試算すると、本試料を2m<sup>2</sup>敷き詰めて夏の昼間に1時間晴天が続けば、成人1人が1日に必要な飲み水を得られることになる。

##### (5) 光熱変換時のナノ構造の温度測定

窒化チタンの薄膜とナノアレイの上に水の層を形成し、光熱変換時の温度を顕微ラマン分光により見積もった。実験環境は常温常圧である。その結果、どちらの試料の場合も過加熱が観測され、2つの試料に明瞭な差はみられなかった。過加熱が起きた要因として、加熱範囲が数ミクロンと小さいことと、光による加熱のため力学的振動が小さかったことが考えられる。また2つの試料において加熱の差がなかったのは、たまたまラマン励起波長の785nmで2つの試料の光吸収率が同じであり、温度上昇は基板の熱伝導率が支配的であったからと考えられる。

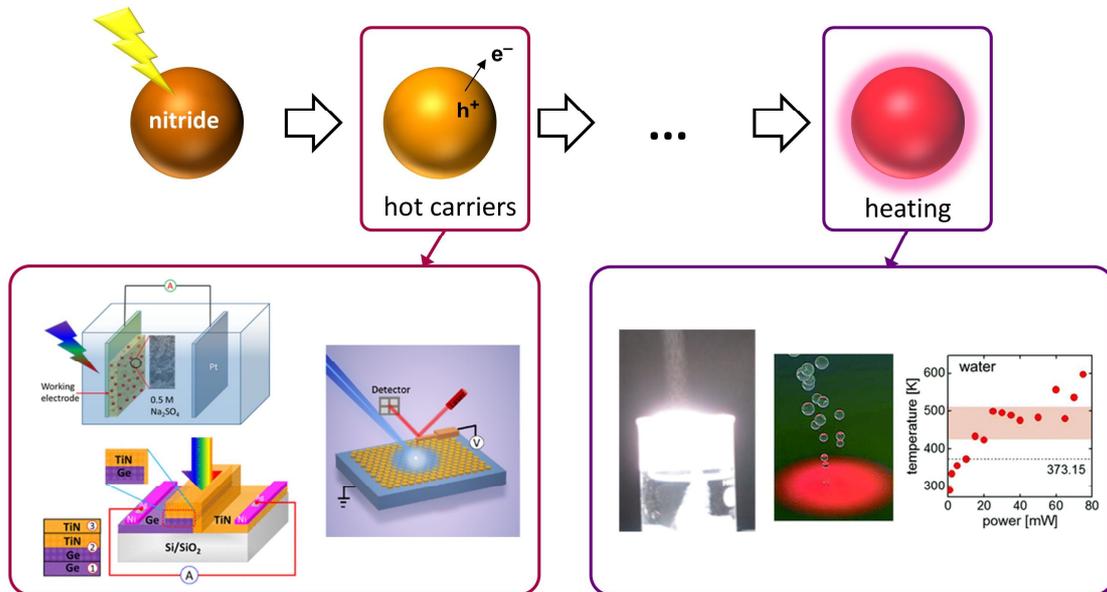


図1 遷移金属窒化物ナノ構造を用いたホットキャリアエンジニアリングの概念図。遷移金属窒化物ナノ構造に光を照射すると、光励起電荷が生成(光電変換)し、光励起電荷が緩和してナノ構造を加熱(光熱変換)する。光電変換の実証例として、光電気化学反応の電極、近赤外光検出器、ケルビンプローブ顕微鏡を用いたプラズモエレクトリック効果の観測がある。光熱変換の実証例として高効率な太陽熱蒸留がある。光熱変換時の温度測定の結果、水の過加熱を測定した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tanjaya Nicholaus, Kaur Manpreet, Nagao Tadaaki, Ishii Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Photothermal heating and heat transfer analysis of anodic aluminum oxide with high optical absorptance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanophotonics	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） 10.1515/nanoph-2022-0244	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 Ishii Satoshi, Kaur Manpreet, Nagao Tadaaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Solar Water Distillation Using Titanium Nitride Nanostructures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 79～82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4164/sptj.59.79	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 Ishii Satoshi, Higashino Makoto, Goya Shinya, Shkondin Evgeniy, Tanaka Katsuhisa, Nagao Tadaaki, Takayama Osamu, Murai Shunsuke	4. 巻 10
2. 論文標題 Extreme thermal anisotropy in high-aspect-ratio titanium nitride nanostructures for efficient photothermal heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 1487～1494
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/nanoph-2020-0569	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 Yu Min-Wen, Ishii Satoshi, Li Shisheng, Ku Ji-Ren, Yang Jhen-Hong, Su Kuan-Lin, Taniguchi Takaaki, Nagao Tadaaki, Chen Kuo-Ping	4. 巻 5
2. 論文標題 Quantifying photoinduced carriers transport in exciton-polariton coupling of MoS2 monolayers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 47-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41699-021-00227-y	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 Shinde Satish Laxman, Ngo Hai Dang, Ngo Thien Duc, Ishii Satoshi, Nagao Tadaaki	4. 巻 129
2. 論文標題 Solar-active titanium-based oxide photocatalysts loaded on TiN array absorbers for enhanced broadband photocurrent generation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 023103 ~ 023103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0031400	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 Kaur Manpreet, Shinde Satish Laxman, Ishii Satoshi, Jevasuwan Wipakorn, Fukata Naoki, Yu Min-Wen, Li Yunxiang, Ye Jinhua, Nagao Tadaaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Marimo-Bead-Supported Core-Shell Nanocomposites of Titanium Nitride and Chromium-Doped Titanium Dioxide as a Highly Efficient Water-Floatable Green Photocatalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 31327 ~ 31339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c03781	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 Yu Min-Wen, Ishii Satoshi, Shinde Satish Laxman, Tanjaya Nicholas Kevin, Chen Kuo-Ping, Nagao Tadaaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Direct Observation of Photoinduced Charge Separation at Transition-Metal Nitride-Semiconductor Interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 56562 ~ 56567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c14690	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 Yu Min-Wen, Ishii Satoshi, Ku Ji-Ren, Yang Jhen-Hong, Huang Chih-Hsiang, Lu Tien-Chang, Lin Tzy-Rong, Nagao Tadaaki, Chen Kuo-Ping	4. 巻 3
2. 論文標題 Graphene-Loaded Plasmonic Zirconium Nitride and Gold Nanogroove Arrays for Surface-Charge Modifications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 5002 ~ 5007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsanm.0c01144	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 Yang Zih Ying, Ishii Satoshi, Doan Anh Tung, Shinde Satish Laxman, Dao Thang Duy, Lo Yu Ping, Chen Kuo Ping, Nagao Tadaaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Narrow Band Thermal Emitter with Titanium Nitride Thin Film Demonstrating High Temperature Stability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1900982 ~ 1900982
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201900982	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 該当する

1. 著者名 Stanciu Stefan G., Tranca Denis E., Pastorino Laura, Boi Stefania, Song Young Min, Yoo Young Jin, Ishii Satoshi, Hristu Radu, Yang Fang, Bussetti Gianlorenzo, Stanciu George A.	4. 巻 3
2. 論文標題 Characterization of Nanomaterials by Locally Determining Their Complex Permittivity with Scattering-Type Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1250 ~ 1262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b02019	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 Shinde Satish Laxman, Ishii Satoshi, Nagao Tadaaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Sub-Band Gap Photodetection from the Titanium Nitride/Germanium Heterostructure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 21965 ~ 21972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acсами.9b01372	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 Ishii Satoshi, Shinde Satish Laxman, Nagao Tadaaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Nonmetallic Materials for Plasmonic Hot Carrier Excitation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1800603 ~ 1800603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201800603	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 Kaur Manpreet, Ishii Satoshi, Shinde Satish Laxman, Nagao Tadaaki	4. 巻 3
2. 論文標題 All Ceramic Solar Driven Water Purifier Based on Anodized Aluminum Oxide and Plasmonic Titanium Nitride	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Sustainable Systems	6. 最初と最後の頁 1800112 ~ 1800112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsu.201800112	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 石井 智, シンデ サティッシュ ラクスマン, マンプリート カウアー, ラム パスパティ スガワネシュ ワー, 長尾 忠昭	4. 巻 47
2. 論文標題 光励起電荷の発生と光熱変換における遷移金属窒化物と遷移金属炭化物の利用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 365-369
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 石井智、長尾忠昭	4. 巻 47
2. 論文標題 ナノ粒子の光学共鳴を利用した光熱変換と太陽熱応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 375-380
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 Ishii Satoshi, Kamakura Ryosuke, Sakamoto Hiroyuki, Dao Thang D., Shinde Satish L., Nagao Tadaaki, Fujita Koji, Namura Kyoko, Suzuki Motofumi, Murai Shunsuke, Tanaka Katsuhisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Demonstration of temperature-plateau superheated liquid by photothermal conversion of plasmonic titanium nitride nanostructures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 18451 ~ 18456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nr05931d	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 Sato Rodrigo, Ishii Satoshi, Nagao Tadaaki, Naito Masanobu, Takeda Yoshihiko	4. 巻 5
2. 論文標題 Broadband Plasmon Resonance Enhanced Third-Order Optical Nonlinearity in Refractory Titanium Nitride Nanostructures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 3452 ~ 3458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.8b00357	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 Sugavaneshwar Ramu Pasupathi, Ishii Satoshi, Dao Thang Duy, Ohi Akihiko, Nabatame Toshihide, Nagao Tadaaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Fabrication of Highly Metallic TiN Films by Pulsed Laser Deposition Method for Plasmonic Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 814 ~ 819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.7b00942	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 Shinde Satish Laxman, Ishii Satoshi, Dao Thang Duy, Sugavaneshwar Ramu Pasupathi, Takei Toshiaki, Nanda Karuna Kar, Nagao Tadaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhanced Solar Light Absorption and Photoelectrochemical Conversion Using TiN Nanoparticle-Incorporated C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -C Dot Sheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 2460 ~ 2468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsam.7b15066	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 該当する

1. 著者名 Kaur Manpreet, Ishii Satoshi, Shinde Satish Laxman, Nagao Tadaaki	4. 巻 5
2. 論文標題 All-Ceramic Microfibrous Solar Steam Generator: TiN Plasmonic Nanoparticle-Loaded Transparent Microfibers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 8523 ~ 8528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.7b02089	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 Yang Zih-Ying, Ishii Satoshi, Yokoyama Takahiro, Dao Thang Duy, Sun Mao-Guo, Pankin Pavel S., Timofeev Ivan V., Nagao Tadaaki, Chen Kuo-Ping	4. 巻 4
2. 論文標題 Narrowband Wavelength Selective Thermal Emitters by Confined Tamm Plasmon Polaritons	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 2212 ~ 2219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.7b00408	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 Shinde Satish Laxman, Dao Thang Duy, Ishii Satoshi, Nien Li-Wei, Nanda Karuna Kar, Nagao Tadaaki	4. 巻 4
2. 論文標題 White Light Emission from Black Germanium	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 1722 ~ 1729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.7b00214	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 Kamakura Ryosuke, Murai Shunsuke, Ishii Satoshi, Nagao Tadaaki, Fujita Koji, Tanaka Katsuhisa	4. 巻 4
2. 論文標題 Plasmonic-Photonic Hybrid Modes Excited on a Titanium Nitride Nanoparticle Array in the Visible Region	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 815 ~ 822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.6b00763	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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 石井 智, タンジャヤ ニコラウス ケビン, 東野 真, 呉屋 伸哉, SHKONDIN Evgeniy, 田中 勝久, 長尾 忠昭, TAKAYAMA Osamu, 村井 俊介
2. 発表標題 High aspect ratio structures for extreme anisotropy in effective thermal conductivities
3. 学会等名 METANANO 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 智, マンプリート カウアー, MURAI Shunsuke, GOYA Shinya, HIGASHINO Makoto, TANAKA Katsuhisa, YANG Zhi-Ying, CHEN Kuo-Ping, 長尾 忠昭
2. 発表標題 Titanium nitride for light-to-heat and heat-to-light conversions
3. 学会等名 META 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 智, ユー ミンウエン, シンデ サティッシュ ラクスマン, タンジャヤ ニコラウス ケピン, CHEN Kuo-Ping, 長尾 忠昭
2. 発表標題 Nanoscale imaging of photo-induced hot carriers by Kelvin probe force microscope
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 jointly with ICYS
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 智, ユー ミンウエン, シンデ サティッシュ ラクスマン, タンジャヤ ニコラウス ケピン, CHEN Kuo-Ping, 長尾 忠昭
2. 発表標題 ケルビンプローブ顕微鏡を用いた窒化ジルコニウムの光励起電荷観測
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 石井 智, シンデ サティッシュ ラクスマン, マンプリート カウアー, ユー ミンウエン, 長尾 忠昭
2. 発表標題 遷移金属窒化物の光励起ホットキャリアとその応用
3. 学会等名 分子研研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, MANPREET, Kaur, ユー ミンウエン, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Transition metal nitrides and transition metal carbides for photoelectric and photothermal conversions
3. 学会等名 METANANO 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井智, SHINDE Satish Laxman, RAMU PASUPATHI Sugavaneshwar, MANPREET Kaur, 長尾忠昭
2. 発表標題 導電性セラミックスを用いた光励起電荷の発生と光熱変換
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MANPREET, Kaur, ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Photoexcited TiN Nanoheaters in Nanoporous Anodized Aluminum Oxide for High-Efficiency Water Desalination
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ユー ミンウエン, ISHII, Satoshi, NAGAO, Tadaaki, CHEN KuoPing
2. 発表標題 Graphene Charge Transfer in Plasmonic Materials
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SATO, Rodrigo, HENZIE, Joel, ISHII, Satoshi, MURAI Shunsuke, TAKEDA, Yoshihiko
2. 発表標題 Nano/microbubbles enhanced diffuse plasmonic nanoparticle-dye random laser
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MANPREET, Kaur, ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Highly Efficient Water Desalination Based on Photoexcited TiN Nanoheaters
3. 学会等名 ICSFS19-The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MANPREET, Kaur, ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Efficient Water Desalination by using Photoexcited TiN Nanoheaters in Nanoporous Anodized Aluminum Oxide
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 智
2. 発表標題 窒化チタンを用いた太陽光エネルギーの利用
3. 学会等名 時代を刷新する会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Photocurrent generation with transition metal nitrides and transition metal carbides
3. 学会等名 ICTON 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ISHII, Satoshi
2. 発表標題 Hot carrier engineering with titanium nitride nanostructures
3. 学会等名 WMRIF Early Career Scientist Speaking Contest (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ISHII, Satoshi, SHINDE, Satish Laxman, RAMU PASUPATHI, Sugavaneshwar, MANPREET, Kaur, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Photoelectric and photothermal conversions with titanium nitride nanostructures for sunlight harvesting
3. 学会等名 A3 Metamaterials Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ISHII, Satoshi, MANPREET, Kaur, SHINDE, Satish Laxman, RAMU PASUPATHI, Sugavaneshwar, NAGAO, Tadaaki
2. 発表標題 Harvesting sunlight with titanium nitride nanostructures
3. 学会等名 PIERS 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井 智, マンブリート カウアー, チェン カイ, 長尾 忠昭
2. 発表標題 ナノ粒子の光学共鳴を利用した太陽光吸収と光熱変換.
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井智, Satish Laxman SHINDE, 長尾忠昭
2. 発表標題 Photocurrent generation from TiN nanostructures by visible light
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石井智, Satish Laxman SHINDE, RAMU PASUPATHI Sugavaneshwar, 長尾忠昭
2. 発表標題 窒化チタンナノ構造による光捕集とその応用
3. 学会等名 ナノオプティクス研究グループ第24回研究討論会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石井智
2. 発表標題 ナノ光学材料としての窒化チタン：光電変換と光熱変換を中心に
3. 学会等名 コニカミノルタカレッジ (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

光熱変換の成果を元にした太陽熱蒸留は、TEPIA先端技術館にてオンラインでは2021年から、リアルでは2022年から展示中である。

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	長尾 忠昭  (NAGAO Tadaaki)  (40267456)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・グループリーダー   (82108)	
連携研究者	シンデ サティシュ  (SHINDE Satish)  (00771354)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・博士研究員   (82108)	

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