

令和 2 年 5 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14665

研究課題名(和文) 赤外センシング応用に向けた波長可変型狭帯域熱輻射光源の開発

研究課題名(英文) Development of wavelength-tunable narrowband thermal emitters for infrared sensing

研究代表者

井上 卓也 (INOUE, Takuya)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70793800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、赤外センシング応用を見据え、所望の赤外線波長のみで狭帯域に発光し、かつ発光波長を広範囲に変化させられる、波長可変型狭帯域熱輻射光源を開発することを目指した。その結果、GaN/AlGaIn量子井戸のサブバンド間遷移とフォトニック結晶の共振作用を利用することにより、波長3-5μmの中波赤外線領域において、狭帯域な熱輻射スペクトル及びその電圧制御動作を実証した。さらに、複数波長で共振作用を示すフォトニック結晶と複数の量子井戸を利用することで、単一発光面における複数波長可変動作の実証にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中赤外線領域では、分子の化学結合に基づく物質固有の光吸収が生じるため、同帯域の光源を利用することで、様々な物質の高精度なセンシングが可能となる。本研究で実証に成功した、広い赤外域での熱輻射スペクトル制御技術および波長可変技術は、環境計測・化学反応プロセス制御・医療用センシング・食品衛生管理等の幅広い応用分野において、センシングシステムの小型化・低消費電力化に大きく貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed wavelength-tunable mid-infrared narrowband thermal emitters for infrared sensing. By using intersubband transitions in GaN/AlGaIn quantum wells and optical resonances in photonic crystals, we demonstrated narrowband thermal emission and its electrical control in the mid-wavelength infrared range (corresponding to the wavelength range of 3-5 μm). In addition, by using a photonic crystal that supports multiple optical resonances and multiple quantum wells, we successfully realized the electrical switching of multiple thermal emission peaks at distant wavelengths from a single emitter.

研究分野：光量子電子工学

キーワード：熱輻射制御 フォトニック結晶 量子井戸 窒化ガリウム 中赤外

1. 研究開始当初の背景

高温の物体から生じる熱輻射は、遠赤外線から可視光まで様々な波長を簡便に生成させられる光源として、赤外センシング、照明、エネルギー変換等の幅広い分野において利用される。特に、中赤外線帯域(波長  $2.5 \mu\text{m}$  以上)では、分子の化学結合に基づく固有の光吸収が生じ、それを利用した物質の高感度なセンシングが可能となるため、同帯域の熱輻射は、環境計測・化学反応プロセス制御・医療用センサ・食品衛生管理等の幅広い用途に用いられる。しかし、一般的な物質の熱輻射は、極めて幅広いスペクトルを示すため、個々の応用で必要となる狭帯域な発光を取り出すためには波長フィルタ・分光装置が必要となり、システムの大型化と消費パワーの増大が課題となる。従って、所望の狭い帯域に集中して放射し、さらにその発光波長を外部から広範囲に制御可能な熱輻射光源を開発することが強く望まれる。

上記の背景のもと、研究代表者は、これまでの研究において、物質の吸収係数(電子状態)と光子状態の両者の帯域制御を組み合わせることで、狭帯域な熱輻射スペクトルを実現することを目指してきた。具体的には、特定の波長のみで大きな光吸収係数を生じる半導体量子井戸のサブバンド間遷移と、特定波長の光に対して共振作用をもたらすフォトニック結晶を組み合わせた光源の開発を行ってきた。図1に、GaAs/AlGaAs量子井戸とフォトニック結晶を組み合わせた光源において、波長  $9 \mu\text{m}$  を中心とした狭帯域な熱輻射ピークを実現した結果を示す。発光線幅が黒体輻射スペクトルの  $1/100$  以下( $Q > 100$ )と極めて狭帯域なスペクトルが得られ、投入電力を同一にして比較した場合は、作製光源の温度が黒体光源よりも効率よく上昇し、黒体の12倍の強度の輻射を示すことが明らかとなった[Inoue *et al.*, *Optics Express* **24**, 15101 (2016)]。さらに、研究代表者は、光源の熱輻射スペクトルを外部から動的に制御する手法についても検討を行った。具体的には、量子井戸中の電子密度を、pn接合ダイオードを利用して電圧により変調することで、従来の光源の応答速度を約4桁凌駕する超高速( $\sim \text{MHz}$ )な熱輻射変調を実証した(図2)[Inoue *et al.*, *Nature Materials* **13**, 928 (2014)]。また、複数のフォトニック結晶を作製し、各フォトニック結晶から異なる波長の熱輻射を出射させることで、熱輻射波長の電圧切替動作の初期実証にも成功した[Inoue *et al.*, *Applied Physics Letters* **108**, 091101 (2016)]。

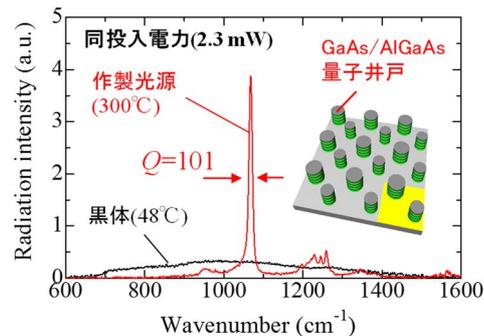


図1. GaAs/AlGaAs量子井戸とフォトニック結晶からなる波長  $9 \mu\text{m}$  帯狭帯域熱輻射光源

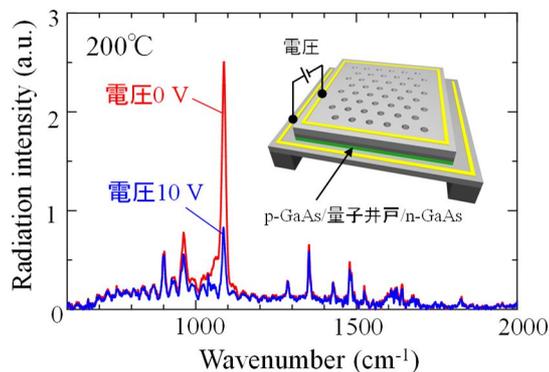


図2. 狭帯域熱輻射光源の電圧高速変調動作の実証

以上に記載したように、研究代表者はこれまで、高温物体の熱輻射スペクトルの狭帯域化および高速制御を原理的に実証してきた。しかし、これまで開発してきた GaAs/AlGaAs 量子井戸に基づく狭帯域熱輻射光源では、光源材料の加熱温度の制約により、波長  $5 \mu\text{m}$  以下の中赤外線を発生させることが困難であり、「所望の」赤外波長で狭帯域な熱輻射を得ることは不可能であった。また、波長可変動作に関しても、その波長可変範囲が、量子井戸の吸収帯域幅(波長幅  $< 1 \mu\text{m}$ )で制限されていた。従って、冒頭に記載した種々の応用を見据えた場合、狭帯域熱輻射光源の動作波長帯域を拡大するとともに、広範囲な波長可変動作を実現する手法を新たに確立することが不可欠であった。

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、波長  $5 \mu\text{m}$  以下の中赤外線を含む所望の赤外線波長で狭帯域に発光し、かつ発光波長を広範囲に変化させることが出来る、波長可変型狭帯域熱輻射光源を開発することを目的とした。具体的には、広範囲な赤外帯域で狭帯域な光吸収(発光)を得ることができる GaN/AlGaIn 量子井戸のサブバンド間遷移を利用することにより、これまで狭帯域熱輻射制御が実現していなかった、波長  $3 \sim 5 \mu\text{m}$  の中赤外線領域において、狭帯域な熱輻射スペクトル及びその電圧制御動作を実証することを目指した。また、複数の量子井戸および pn 接合を積層した構造に、複数波長で共振作用を示すフォトニック結晶を導入することで、単一発光面において広波長域における波長可変動作の実現を目指した。

### 3. 研究の方法

**光源設計:** GaN/AlGaIn 量子井戸の設計およびサブバンド間遷移エネルギーの計算には、シュレディンガー方程式とポアソン方程式を自己無撞着に解く数値解析手法を用いた。また、フォトニック結晶構造の設計および放射率スペクトルの計算には、厳密結合波解析 (RCWA) を用いた。

**試料作製:** 光源の作製には、Si 基板上もしくはサファイア基板上的 GaN/AlGaIn 量子井戸を用いた。フォトニック結晶の作製は、電子ビーム露光および ICP エッチングによる加工により行った。また電圧制御型熱輻射光源の作製には、上記の GaN/AlGaIn 量子井戸を p-GaN および n-GaN 層で挟んだウエハ構造を使用し、電極蒸着後に、p-GaN 層の活性化のための高温アニール処理を行った。

**光学特性評価:** 作製光源の温度は、外部ヒータによる加熱あるいは素子に電流を流すことによるジュール加熱を用いて制御し、光源の熱輻射スペクトルを MCT 検出器を装備したフーリエ変換型分光器 (FTIR) によって測定した。放射率の評価は、光源と同じ面積の疑似黒体塗料を塗布した試料を同じ温度に加熱した際の輻射スペクトルと比較することで行った。

### 4. 研究成果

#### (1) GaN/AlGaIn 量子井戸とフォトニック結晶に基づく 3~5 μm 帯狭帯域熱輻射光源の開発

GaAs/AlGaAs 狭帯域熱輻射光源では実現できなかった、波長 3~5 μm 帯の高出力な狭帯域熱輻射光源の実現を目指し、波長 3~5 μm 帯でサブバンド間遷移による狭帯域な吸収を示し、かつ高温での耐久性に優れている、GaN/AlGaIn 量子井戸を材料とした狭帯域熱輻射光源の作製プロセスの確立とその評価を行った。GaN/AlGaIn 量子井戸の設計では、サブバンド間遷移の中心波長が約 4 μm となるように、井戸幅・障壁幅をともに 3 nm に設定した。フォトニック結晶光源の作製プロセスに関しては、Si 基板上に GaN/AlGaIn 量子井戸を成長したのち、最終的に Si 基板を除去して薄膜化する手法を最初に検討した。具体的には、量子井戸上に電子ビーム描画および塩素系ドライエッチングによりロッド型フォトニック結晶パターンを形成したのち、裏側の Si 基板を SF<sub>6</sub> ガスによるドライエッチングにより除去するプロセスを確立した。その結果、直径 1.5 mm のフォトニック結晶スラブの作製に成功し、作製光源を 500 以上に加熱することで、中心波長 4 μm において Q 値 90 以上に相当する狭帯域熱輻射スペクトルの実証に成功した。また、作製光源を温度 700 で 2 時間加熱しても熱輻射スペクトルが変化しないことを確認し、GaN/AlGaIn 熱輻射光源の優れた耐高温性を実証した (図 3)。

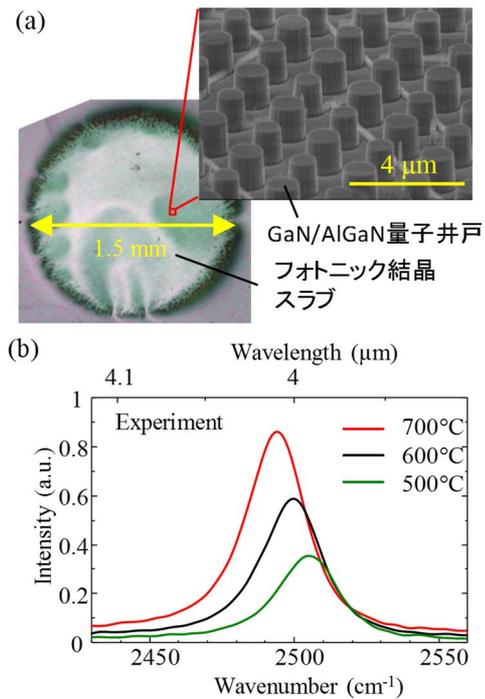


図 3. (a) GaN フォトニック結晶の作製構造 (b) 波長 4 μm 帯での狭帯域熱輻射光源の実証

さらに、上記の薄膜型光源よりもさらに大面積・高出力光源を実現するため、サファイア基板上 GaN/AlGaIn 量子井戸を用いたフォトニック結晶光源の設計および作製プロセスの開発も行った。はじめに、数値計算により、GaN との屈折率差が空気よりも小さくなるサファイア基板上であっても、量子井戸部に光が局在する共振モードが存在する条件を探索した結果、空孔型フォトニック結晶の孔の大きさと深さを適切に調節することで、狭帯域な熱輻射ピークが得られることを明らかにした。続いてサファイア基板上的 GaN/AlGaIn 量子井戸に、設計したフォトニック結晶構造を作製した結果、図 3(a) の薄膜型フォトニック結晶の 6 倍の面積 (3.4 mm × 3.4 mm) をもつ大面積光源の作製に成功した。さらに、作製光源を 800 に加熱して、熱輻射スペクトルを測定することにより、中心波長 3.7 μm において、放射率 60%、Q 値 100 を超える狭帯域熱輻射の観測に成功した (図 4)。

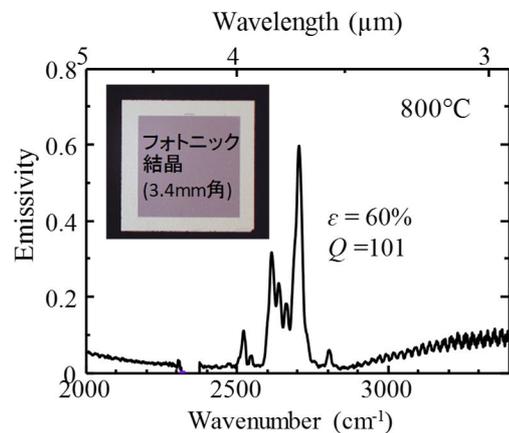


図 4. サファイア基板上 GaN/AlGaIn 量子井戸に基づく大面積狭帯域熱輻射光源の実証

### (2) 3~5 μm 帯狭帯域熱輻射光源の電圧変調動作の実証

次に、(1)で実証した3~5 μm 帯狭帯域熱輻射光源において、輻射強度の電圧変調動作の実証を行った。はじめに、GaN/AlGaIn 量子井戸を pn ダイオードの内部に導入し、量子井戸の層数とドーピング密度を調整することで、サブバンド間吸収および熱輻射強度の電圧変調動作が可能になることを数値計算により確認した。次に、pn ダイオードの内部に GaN/AlGaIn 量子井戸を導入したウエハを用いて、電圧変調型フォトニック結晶熱輻射光源の作製プロセスの開発を行った。特に、高温 (>500 °C) でも使用可能な p 型および n 型電極の形成手法について検討を行った結果、電極蒸着前の GaN 表面のアルカリ性溶液エッチングおよび電極蒸着後のアニール条件を調整することで、500 °C においても pn ダイオードの一方方向導電性を確認することができた。さらに、フォトニック結晶と電極を形成した光源の熱輻射スペクトルの評価を行ったところ、光源温度 500 °C において、逆方向電圧 30 V の印加により、波長 4.1 μm における放射率の変調に成功した(図 5)。また、電極作製プロセスの改良と p ドーピング層厚さの調整を行った結果、放射率変調を得るために必要な電圧値を 30 V から 10 V まで低減することにも成功した。さらに、電圧変調型フォトニック結晶熱輻射光源について、応答周波数特性の評価を行い、変調周波数 50 kHz での電圧変調動作の実証に成功した。

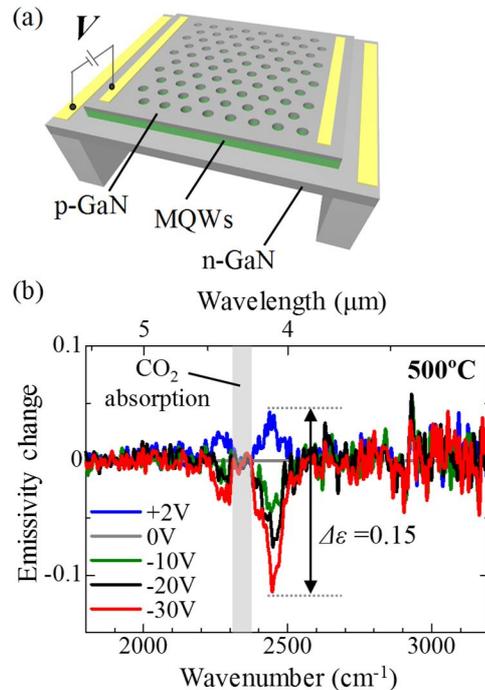


図 5. (a)電圧制御型 GaN フォトニック結晶の作製構造 (b) 電圧制御動作の実証

### (3) 狭帯域熱輻射光源の広範囲な波長可変動作の実証

上記の(1)(2)の検討により、所望の赤外線波長のみで狭帯域な熱輻射ピークが実現し、かつその輻射強度を高速に変調する技術が確立された。しかし、これまでに開発してきた狭帯域熱輻射光源は、光源内に 1 種類の量子井戸しか有していなかったため、フォトニック結晶の共振波長を変化させたとしても、実現可能な熱輻射波長は、量子井戸の吸収帯域 (波長幅 < 1 μm) に制限されていた。そこで、1つのウエハ内部に、サブバンド間遷移の波長が異なる複数種類の量子井戸構造を積層し、さらに、複数波長で共振作用を示すフォトニック結晶を利用することで、1つの光源において、より広範囲な波長可変動作を実現することを目指した。なお、本項目については、既に熱輻射強度の高速電圧変調動作が実現している GaAs/AlGaAs 量子井戸を利用して、その初期実証に取り組んだ。

はじめに、上記のような広範囲な波長可変動作を実現するための熱輻射光源の設計を行った。図 6(a)に設計した光源の模式図を示す。サブバンド間遷移の波長が異なる 2 種類の量子井戸 (MQW1: 8.1 μm, MQW2: 10.7 μm) が異なる pn 接合の内部に積層されており、そこに三角格子円孔フォトニック結晶を導入した構造となっている。本構造では、上下の n-GaAs 層の間に電圧を印加し、その極性を反転することで、MQW1 および MQW2 のいずれか一方の電子を空乏化することが可能になる。従って、印加電圧の極性により、MQW1, MQW2 のサブバンド間遷移波長に対応する熱輻射ピーク強度を独立に変調することが可能である。フォトニック結晶のフォトニックバンド構造の模式図 (空格子近似) を図 6(b)に示す。ここでは、フォトニック結晶の格子定数と厚さを調整し、単一のフォトニック結晶が有する、2 次の点共振モード ( $\Gamma_2$ ) と 3 次の点共振モード ( $\Gamma_3$ ) を同時に利用することで、2 つの離れた波長において、面垂直方向に狭帯域な熱輻射ピークが得られるようにした。

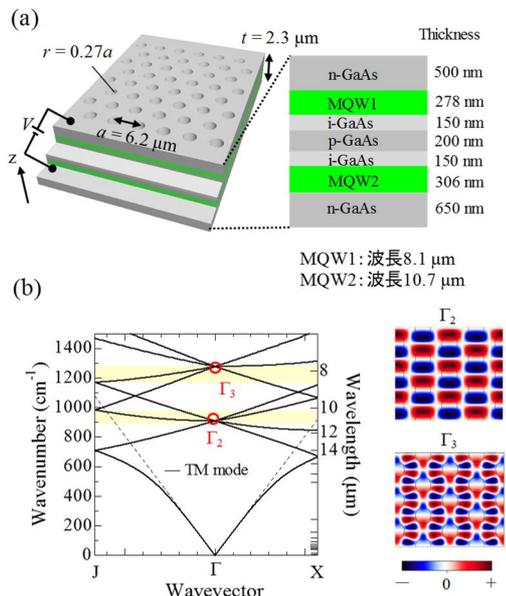


図 6. (a)単一発光面で 2 波長切替可能な熱輻射光源の設計構造 (b) フォトニックバンド構造と各共振モードの電界分布

続いて設計した多波長切替可能な熱輻射光源の作製を行った。作製に用いた量子井戸ウエハの透過スペクトルを FTIR により測定した結果、設計した 2 波長において、サブバンド間遷移による明瞭な吸収を確認出来た[図 7(a)]。次に、上記のウエハに、厚さと格子定数を適切に調整した単一の三角格子フォトニック結晶を作製し、さらに上部および下部 n-GaAs 層に電極を形成した熱輻射光源を作製した。作製光源を 150 °C に加熱し、FTIR により熱輻射スペクトルの測定を行ったところ、波長 8.1  $\mu\text{m}$  と波長 10.9  $\mu\text{m}$  に 2 つの狭帯域な熱輻射ピークが得られた。さらに、上記の電極に電圧を印加し、その極性を反転させることで、各ピーク強度を独立に変調することに成功した[図 7(b)]。これら 2 つの熱輻射ピークの波長差 (2.8  $\mu\text{m}$ ) は単一の量子井戸のサブバンド間遷移の吸収幅 (約 1  $\mu\text{m}$ ) よりも大きく、従来の手法の限界を超えた範囲での波長可変動作の実証に成功した。また、上記の初期実証では GaAs/AlGaAs 量子井戸に基づく熱輻射光源を用いていたが、GaN/AlGaN 量子井戸を用いた熱輻射光源の波長切替動作や、単一発光面における 3 波長の切替動作についても、数値計算により、その実現可能性を明らかにした。

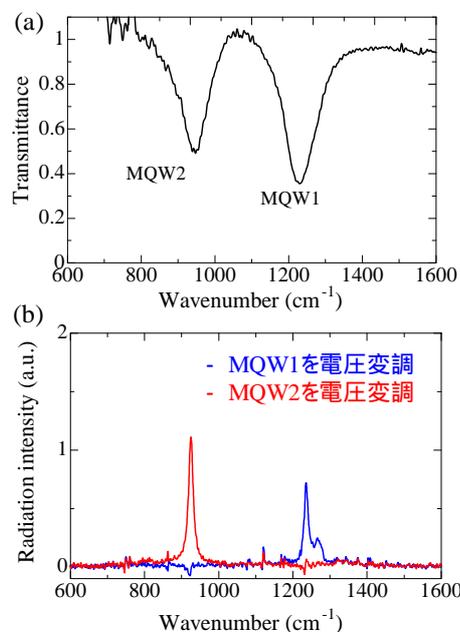


図 7. (a) 2 種類の量子井戸を含むウエハの透過スペクトルの測定結果 (b) 作製した多波長光源の熱輻射スペクトルの変調量の測定結果

#### (4) 本研究の位置付け

上記の(1)および(2)の検討により、これまでの GaAs/AlGaAs 系熱輻射光源では制御が困難であった波長 3~5  $\mu\text{m}$  帯において、GaN/AlGaN 系熱輻射光源の開発に成功し、狭帯域熱輻射スペクトルおよび電圧高速変調動作の実証に成功した。この技術を基礎として、フォトニック結晶の格子定数 (輻射波長) を変化させた複数の光源の並列化を行えば、波長 3~5  $\mu\text{m}$  帯における波長可変動作も容易に実現可能と考えられる。また、(3)で実証した、単一発光面における多波長スイッチング動作を利用することで、並列化する熱輻射光源の数が限られる場合でも、波長可変範囲を大幅に拡張することが可能になった。以上の成果を踏まえ、当初の目的であった「所望の赤外線波長のみで狭帯域に発光し、発光波長を広範囲に変化させられる、波長可変型狭帯域熱輻射光源の開発」については、その基盤技術を確立出来たといえる。これにより、将来、各種分光・センシング応用において、FTIR 等の大型・高価な分光装置が不要になり、システムの小型化・低消費電力化に貢献することが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 Kang Dongyeon Daniel, Inoue Takuya, Asano Takashi, Noda Susumu	4. 巻 6
2. 論文標題 Electrical Modulation of Narrowband GaN/AlGaIn Quantum-Well Photonic Crystal Thermal Emitters in Mid-Wavelength Infrared	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 1565 ~ 1571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1021/acsp Photonics.9b00440	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 Inoue Takuya, Koyama Takaaki, Kang Dongyeon Daniel, Ikeda Keisuke, Asano Takashi, Noda Susumu	4. 巻 19
2. 論文標題 One-Chip Near-Field Thermophotovoltaic Device Integrating a Thin-Film Thermal Emitter and Photovoltaic Cell	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 3948 ~ 3952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b01234	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 Suemitsu Masahiro, Asano Takashi, Inoue Takuya, Noda Susumu	4. 巻 7
2. 論文標題 High-Efficiency Thermophotovoltaic System That Employs an Emitter Based on a Silicon Rod-Type Photonic Crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 80 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1021/acsp Photonics.9b00984	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 INOUE Takuya, DE ZOYSA Menaka, ASANO Takashi, NODA Susumu	4. 巻 E101.C
2. 論文標題 Wavelength-Switchable Mid-Infrared Narrowband Thermal Emitters Based on Quantum Wells and Photonic Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 545 ~ 552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1587/transele.E101.C.545	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 Inoue Takuya, Asano Takashi, Noda Susumu	4. 巻 26
2. 論文標題 Spectral control of near-field thermal radiation via photonic band engineering of two-dimensional photonic crystal slabs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 32074 ~ 32082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1364/OE.26.032074">https://doi.org/10.1364/OE.26.032074</a>	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 Dongyeon Daniel Kang, Takuya Inoue, Takashi Asano, Susumu Noda	4. 巻 8
2. 論文標題 GaN/AlGaIn photonic crystal narrowband thermal emitters on a semi-transparent low-refractive-index substrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015221-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.5019387">https://doi.org/10.1063/1.5019387</a>	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 Takuya Inoue, Kohei Watanabe, Takashi Asano, Susumu Noda	4. 巻 26
2. 論文標題 Near-field thermophotovoltaic energy conversion using an intermediate transparent substrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 A192 ~ A208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1364/OE.26.00A192">https://doi.org/10.1364/OE.26.00A192</a>	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 Dongyeon Daniel Kang, Takuya Inoue, Takashi Asano, Susumu Noda	4. 巻 110
2. 論文標題 Demonstration of a mid-wavelength infrared narrowband thermal emitter based on GaN/AlGaIn quantum wells and a photonic crystal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 181109-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4983020">http://dx.doi.org/10.1063/1.4983020</a>	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22件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 井上卓也
2. 発表標題 半導体フォトニック結晶による熱輻射制御
3. 学会等名 PCoMSシンポジウム&計算物質科学スーパーコンピュータ共用事業報告会2019（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Inoue, T. Koyama, D. D. Kang, T. Asano and S. Noda
2. 発表標題 One-chip integrated near-field thermophotovoltaic devices using intermediate transparent substrates
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 粟根悠介, 井上卓也, 野田進
2. 発表標題 2波長変調可能な電圧変調型中赤外バンドパスフィルタの検討
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 池田圭佑, 鈴木泰樹, 井上卓也, 古山隆章, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 輻射リサイクリングを導入した近接場熱光発電システムの理論解析
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 鈴木泰樹, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 赤外反射・可視透過可能な金属フォトニック結晶フィルタ
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 粟根悠介, 坂口有平, 井上卓也, 野田進
2. 発表標題 電圧変調型中赤外バンドパスフィルタによる高速ガス検出
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 古山隆章, 井上卓也, 浅野卓, 野田進,
2. 発表標題 近接場熱光発電に向けた熱輻射光源の平坦性・温度均一性の向上
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 末光真大, 浅野卓, 井上卓也, 野田進
2. 発表標題 不要輻射の再利用による可視-近赤外熱輻射光源の実効的狭帯域化の検討
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 池田圭佑, 井上卓也, 浅野卓, 古山隆章, 野田進
2. 発表標題 機械学習を用いたSi熱輻射光源の温度推定の精度向上
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 Dongyeon Daniel Kang, Takuya Inoue, Takashi Asano, and Susumu Noda
2. 発表標題 Electrical control of middle-wavelength infrared thermal emission using GaN/AlGaN photonic crystals
3. 学会等名 2018 IEEE Photonics Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kang Daniel Dongyeon, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 GaN/AlGaNフォトリック結晶熱輻射光源の高速変調の実証
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上卓也, 栗根悠介, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 電圧変調型中赤外バンドパスフィルタの設計
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kang Daniel Dongyeon, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 電圧制御型GaN/AlGaInフォトニック結晶熱輻射光源の変調度向上
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 粟根悠介, 井上卓也, 野田進
2. 発表標題 電圧変調型バンドパスフィルタの作製・評価
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 Takuya Inoue, Kohei Watanabe, Takashi Asano, Susumu Noda,
2. 発表標題 Near-field thermal radiation transfer using an intermediate substrate for efficient thermophotovoltaics
3. 学会等名 The 24th Congress of the International Commission for Optics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Inoue, Takashi Asano, Susumu Noda
2. 発表標題 Spectral control of near-field thermal radiation transfer using a Si photonic crystal thermal emitter
3. 学会等名 International Conference on Nano-photonics and Nano-optoelectronics 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 近接場熱光発電に向けた高抵抗Si基板上InGaAs太陽電池の作製
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kang Daniel Dongyeon, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 電圧変調型GaN/AlGaNフォトリック結晶熱輻射光源の作製
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古山隆章, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 近接場熱光発電に向けたSi熱輻射光源支持構造の作製および評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上卓也, 渡辺晃平, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 2次元フォトリック結晶スラブによる近接場熱輻射制御
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 Kang Daniel Dongyeon, 井上卓也, 浅野卓, 野田進
2. 発表標題 中波長赤外熱輻射変調に向けたGaN/AlGaIn量子井戸サブバンド間吸収の電圧制御
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 末光 真大, 浅野卓, 井上卓也, De Zoysa Menaka, 野田進
2. 発表標題 熱光発電用太陽電池の設計および評価
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ResearchmapのURL: <a href="https://researchmap.jp/inoue928/">https://researchmap.jp/inoue928/</a>
--------------------------------------------------------------------------------------------------

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