

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H03184
研究課題名(和文) 周期的微細構造表面間の波長選択表面プラズモン輸送による高密度エネルギー変換

研究課題名(英文) High density energy conversion by spectral controlled surface plasmon established between nano-sized pillar-array structured surfaces

研究代表者
花村 克悟 (Hanamura, Katsunori)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：20172950
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)：本研究において、数百ナノメートルの真空隙間を隔て向い合せたナノサイズピラーアレイ構造表面間のふく射エネルギー輸送がピラー高さにより波長選択的に黒体表面間ふく射輸送をおよそ100倍程度上回ることが明らかにされた。さらにナノサイズのフィッシュネット状電極と薄膜半導体を組合わせた波長選択光電池を製作し、これにピラー構造放射体を向い合せた波長選択近接場光発電システムの足掛かりを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノサイズのピラー構造表面放射体や、ナノサイズのグリッド状表面電極と薄膜半導体を組合わせた光電池により、発電に有効な波長のみを近接場光により輸送し、黒体面間の伝播光によるエネルギー輸送を大きく上回る発電システムの足掛かりが構築できた成果は意義深い。

研究成果の概要(英文)：In the current study, it was clarified that spectrally-controlled enhancement of near-field radiation transfer through a hundred nanometer-scaled vacuum gap was achieved using a nanometer-sized pillar-array structured surface by a factor of about 100 compared with propagating (far-field) radiation transfer by blackbody surfaces through a numerical simulation. In addition, a spectrally-controlled absorption thermophotovoltaic cell made of a thin semiconductor layer sandwiched by a fishnet-type electrode and substrate electrode was manufactured successfully and would be applied for a photovoltaic generation of electricity by combining with the above emitter.

研究分野：熱工学

キーワード：近接場ふく射輸送 波長制御 光起電力発電 エネルギー変換

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

熱ふく射は、一般に、加熱された物質の温度と光学物性に従う強度と放射角依存性を持って、広い波長範囲にわたり放射源から半球状に放射される電磁波である。そのままでは、工学的な特徴を有するエネルギーとはならない。しかし、この表面にグレーティングやマイクロキャビティといった周期的微細構造を施すことにより、遠方まで伝播するふく射（遠方場）の指向性や波長を制御できることが明らかにされてきた。このことは、物質の光学物性に、表面構造によって誘起される表面波（金属では表面プラズモンポラリトン、半導体や絶縁体では表面フォノンポラリトン）を重ね合わせることにより、新たな表面物性を創出し、波長制御や指向性制御など工学的な機能を強調させることが可能となることを示唆しているいわばメタマテリアル（基本となる素材の物性を越える性質を有する物質）の創出である。

一方、放射体表面からふく射の波長程度の範囲に局在する近接場光については、その表面に近づくにつれて指数関数的にエネルギー密度が増大することが知られているものの、多くが常温近傍の小温度差、さらに熱輸送面積はナノサイズあるいはマイクロサイズの実験に限定されてきた。これに対し、6mm×7mm オーダーの GaSb 半導体を用いた近赤外光電池と 800°C のタングステン製加熱面を用いて、熱から電気へのエネルギー変換を試みた実験的研究は、本研究代表者により初めて行われ、近接場効果（エバネッセント波効果）により、通常の伝播光に比べて約 4 倍の発電密度が得られている。このとき、電力に変換されない長波長成分（波長 1.7 ミクロン以上）も近接場効果により電池へ大量に輸送され、電池冷却用の冷却水への熱損失となる。このため、発電効率向上には近接場光の波長制御が不可欠となる。

本研究代表者は、空間差分時間領域法（FDTD 法）を基本としつつ、多数の放射源から球状に放射されるふく射を緻密に解析する独自の数値シミュレーションを構築し、ナノオーダーの真空を隔てて向かい合う 2 つの金属平板間の表面プラズモンポラリトンによるエネルギー輸送を明らかにしてきた。そして、Ni や W 金属の放射体と被加熱体の両表面にナノサイズの周期的柱状構造を付与し、それらを真空中で向い合せた場合、特定の波長の近接場光輸送が選択的に増強されることを見出した。さらに、異種の金属間においても、その高さやピッチを変えて共鳴する波長を同じ（チューニング）とすることで、近接場光輸送の波長制御が可能となることも示されている。これは、まず高温側（赤外線放射体）の柱側面に表面プラズモンが形成（このとき互いに向かい合う側面の表面プラズモンが狭い溝の電場を介して結合する）され、この表面プラズモンの波長が溝深さ（柱高さ）と干渉し、強め合う波長のみがチューニングされた低温側（受光体）の柱状構造へ輸送促進されることによると、研究代表者により予想されている。

そこで、本研究では、受光体として近赤外域にバンドギャップを有する GaSb とした半導体を用意し、黒体放射に比べて数十倍以上のエネルギー輸送密度を発電に寄与する波長帯に集中させることで、高密度エネルギー変換を構築することを試みる。このとき半導体においても表面プラズモンを誘起するためにはキャリア濃度を高め、発電に有効な波長帯において負の誘電率となるように調整する（いわゆる p++ 型半導体とする）。そのうえでこの波長帯が増幅されるような周期的柱状構造を考える。ここで、p 偏光波と s 偏光波の輸送を解析している中で、この柱状構造により長波長域のエネルギー輸送が抑制されることも上記の空間差分時間領域（FDTD）計算により示唆されつつある。

このように比較的単純な構造である周期的柱構造による表面プラズモンの波長制御は、興味深い内容が多く含まれており、十分に明らかになっているとは限らない。したがって、特に波長選択エネルギー輸送といった視点に立ち、サイエンスとして表面プラズモン波長制御機構を詳細に明らかにすること、またエンジニアリングとしても黒体放射に比べ数十倍位以上のエネルギー変換密度が得られることから、あらたな発電システムとしての期待も高まっている。

2. 研究の目的

本研究は、数百ナノスケールの真空隙間を隔て向かい合う赤外線放射面と光起電力半導体表面の双方にナノサイズの周期的柱状構造を付与し、その柱間溝を隔て向かい合う側面に生ずる表面プラズモン（これらは溝内の電場により互いに結合）を溝深さ（柱高さ）と干渉させることで発電に寄与する波長帯のみ選択的に輸送促進させ、熱から電気への高密度エネルギー変換を構築することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究は、実験と数値シミュレーションの両面から行われている。まず、ピラー構造表面半導体の製作として、Te ドープ n 型半導体を酸で表面処理したのち、分子線エピタキシャル装置を用いて、Ga と Sb の分子線を照射し、アンドープの p 型層を 100~200nm ほど成長させる。次に電子線描画装置および反応性イオンエッチング装置を用いて、p-n 接合部に達しないよう p 型層内のみ柱状構造を、キャリア濃度調整から得られる誘電率と半導体の感度波長に合わせて数値計算を併用しながら決定することとしていた。しかしながら、数値計算による結果から p 型 GaSb ピラー構造に入射した電磁波は、その柱構造部分において多くが吸収され熱となり、p-n 接合部（空乏層）まで達しないことが明らかとなった。一方、遠方場ふく射の波長制御放射体として知られている、島状金属 - 薄膜絶縁体 - 平板金属といった構造の絶縁体層を半導体層（GaSb 層）に置き換えることにより、GaSb 半導体のバンドギャップ波長近傍のみを吸収率 100% に近づけられることが数値シミュレーションから明らかとなった。そこで、電池の構造を、

フィッシュネット状 Au 電極 - 薄膜 GaSb 半導体 - 基板 Au 電極といった電池構造へと展開することとした。波長選択電池として遠方場と近接場いずれにも利用できると考えた。

図 1 に、Au フィッシュネット電極 - 薄膜 GaSb 半導体 - Au 裏面電極(MSM)構造の製作プロセスを示す。工程(1)では InAs 基板にアンドープの p-GaSb を 100 nm 程度 MBE 装置を利用して成長させる。行程(2)では GaSb の表面に耐酸性ワックス (厚み 4mm) を塗布する。ワックスが固化した後、工程(3)では塩酸に含浸させ InAs のみを選択的にエッチングし GaSb 薄膜を固形ワックス表面上に形成させる。行程(4)では Si 基板にスパッタされた Au 表面上にこの GaSb 薄膜表面を押し付け Van der Waals 力を利用して接合する。行程(5)では固形ワックスをトリクロロエチレンにより除去し、Si 基板上に、薄膜 GaSb 半導体 - Au 裏面電極(Semiconductor-Metal: SM)構造を形成する。行程(6)では薄膜 GaSb 半導体表面にレジストを塗布し、電子線描画装置を用いてフィッシュネット構造の逆パターンを形成する。行程(7)では電子ビーム蒸着により Au を蒸着し、リフトオフによって Au フィッシュネット電極構造を形成する。なお、ここでは MSM 構造の製作に注力するため、GaSb 層は p 層単体のものとしており、熱光起電力(Thermophotovoltaic: TPV)電池としての発電評価は行っていない。

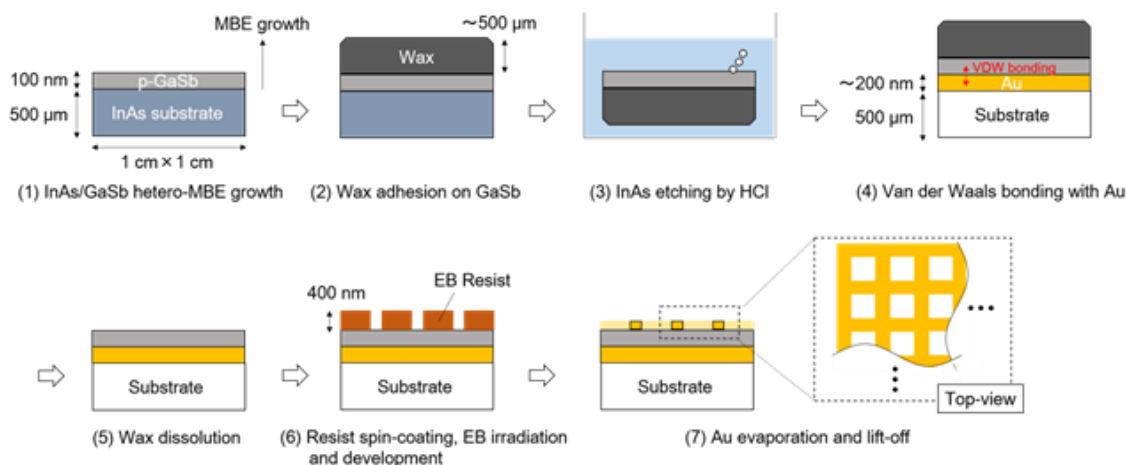


図 1 Au フィッシュネット電極-薄膜 GaSb 半導体-Au 裏面電極(MSM)電池の製造プロセス

数値シミュレーションについては FDTD 法を用い、図 2(1)に示すような MSM 構造電池の遠方場入射に対する吸収率を求め、実験により得られた吸収率と比較した。また、図 2(2)に示すアルミドープ酸化亜鉛(AZO)製ピラー構造表面間のふく射輸送、さらに MSM 構造電池を近接場に適用し図 2(3)に示すようなタングステン(W)および AZO 放射体と 100nm の真空隙間を隔てた場合のふく射輸送についても検討した。

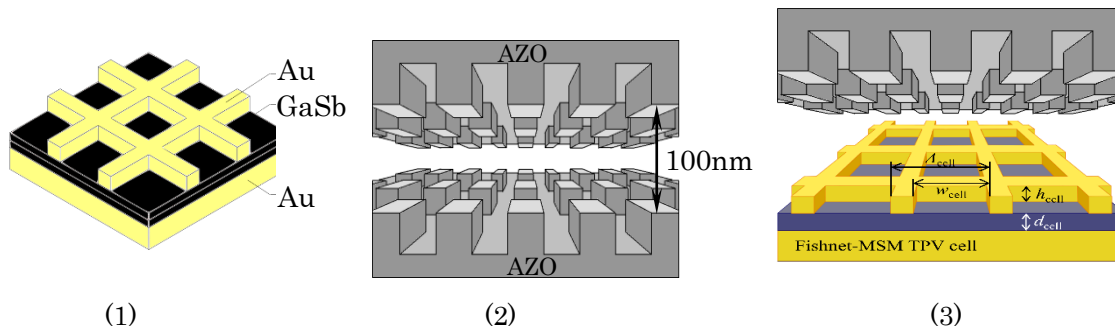


図 2 MSM 電池による遠方場光吸収率(1)、AZO ピラーアレイ構造表面間の近接場ふく射輸送(2)、W あるいは AZO 放射体と MSM 構造電池表面間の近接場ふく射輸送(3)

4. 研究成果

図 3(1)と(2)には、厚み 110nm の GaSb 半導体の表面にリフトオフによって製作されたフィッシュネット Au 電極構造の SEM 像とその電極サイズを示す。その電極の格子幅は 100 nm、開口サイズは 300 nm × 300 nm、厚みは 40 nm である。さらに図 3(3)には、この MSM 構造電池における垂直吸収率を示す。同時に FDTD による数値シミュレーション結果も薄膜 GaSb 層の厚み $d=100$ nm および 110 nm について示されている。図 3(3)の黒線(Experiment)が実験結果であり、そのピーク波長は 1650 nm と、GaSb のバンドギャップ波長である波長 1700 nm 近傍に位置している。その波長における吸収率も 0.95 に達し当初の狙いに近い結果が得られている。また、青線により示されている GaSb 層厚みが 100 nm についての数値シミュレーション結果はピーク波長が 1550 nm と実験結果に比べるとピーク波長が短波長側に位置している。一方、GaSb 層厚みを 110 nm とした数値シミュレーション結果は、ピーク波長が 1700 nm と実験結

果により近い波長となっているとともにその吸収率も 0.95 とほぼ実験結果に一致している。

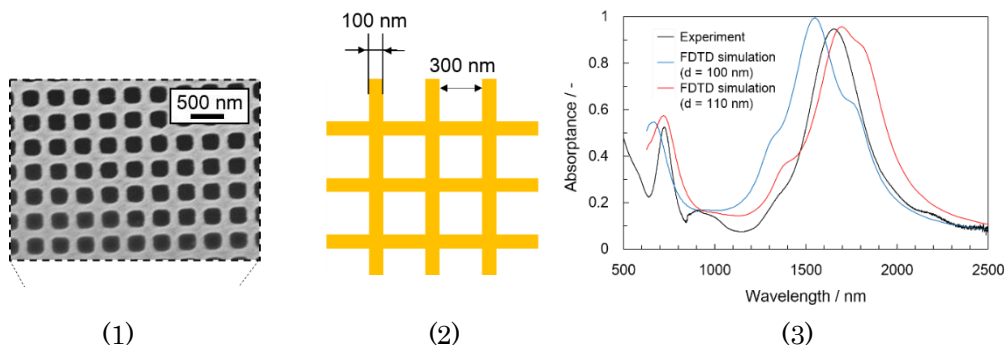


図 3 MSM 構造電池の SEM 像(1)とグリッドサイズ(2)および垂直吸収率(3)

次に図 4 には、AZO 製の放射体と受光体が 100nm の真空隙間を隔て、柱の断面が $a \times a = 80\text{nm} \times 80\text{nm}$ 、柱間隙間が同じく $w = 80\text{nm}$ 、柱高さが $h = 100\text{nm}$ 、 200nm 、 400nm といった構造間に輸送されるふく射エネルギー流束を示す。黒■シンボルにて示された黒体表面間のエネルギー輸送に比べおよそ 100 倍のエネルギー輸送が、柱の高さによって波長域 $3.5\mu\text{m}$ 、 $4.9\mu\text{m}$ 、 $7.0\mu\text{m}$ 近傍にピークとなる結果が得られている。一方、GaSb 電池のバンドギャップ波長の $1.7\mu\text{m}$ 近傍においては、AZO 自身のプラズマ周波数 ω_p に起因する表面プラズモン (周波数は $\omega_p/\sqrt{2}$) により、ふく射エネルギー輸送が平板の場合においてもピラー構造表面とほぼ等しく、黒体表面間のふく射エネルギー輸送に比べて 10 倍近い大きさとなっている。

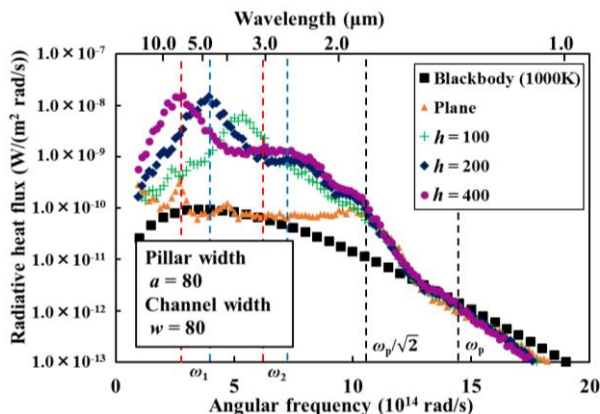
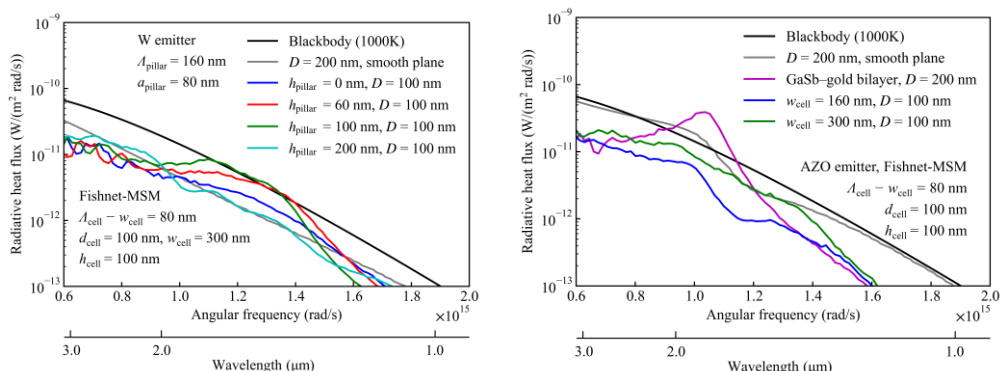


図 4 ピラー構造 AZO 放射体と受光体間の近接場ふく射輸送

図 5(1)と(2)には、それぞれタングステン製ピラー構造放射体と MSM 電池を向い合せた場合と AZO 製平板放射体と MSM 電池を向い合せた場合のふく射エネルギー輸送を示す。図 5(1)に示す W 製ピラー構造放射体と MSM 電池においては、GaSb 半導体のバンドギャップ波長近傍のふく射エネルギー流束が放射体の柱の高さとともに 100nm まで大きくすることが分かる。しかしながら、黒体表面間のふく射エネルギー流束 (図中の黒実線) を大きく超えることはなかった。さらに柱の高さを 200nm と高くすると、そのふく射エネルギー流束は平板間における値まで低下する。なお、波長 $2\mu\text{m}$ より長い波長域においてはふく射エネルギー輸送量が平板間 (図



(1) W 製ピラー構造放射体 - MSM 電池

(2) AZO 平板放射体 - MSM 電池

図 5 W 製ピラー構造(1)および AZO 製平板放射体(2)と MSM 電池間のふく射エネルギー輸送

中の灰色線)よりも小さくなっており、波長選択性は顕著となっている。一方、図 5(2)に示す AZO 製平板放射体においては、AZO 自身のプラズマ周波数に起因する表面プラズモンの波長と MSM 電池のそれが共鳴しないため、黒体表面間のふく射エネルギー流束に達することはなかった。むしろ、フィッシュネット電極を除いた、GaSb 層と裏面 Au 電極の bilayer 構造電池 (図中の赤色線)において黒体表面間を超えるふく射エネルギー輸送が実現されている。

本研究において提案しているピラー構造表面間の波長選択近接場ふく射輸送は、その素材の光学物性とピラー構造の幾何学構造が織りなすことにより達成されるものである。これによるエネルギー輸送量が波長選択的に黒体面間のそれに比べて 100 倍近い値となることが明らかにされたことは大きな成果といえる。一方、この波長選択近接場ふく射輸送を発電システムに応用する場合には、半導体の光学物性を考慮しつつも光子を p-n 接合近傍の空乏層まで導く必要がある。既存に近い p-n 接合電池の利用を考えると、半導体に直接ピラー構造を構成した場合、ふく射エネルギー輸送は大きくなるもの、電気を取り出すことが必ずしもできない。そこで、波長選択性を念頭においた、空乏層厚みに近い薄膜 GaSb 半導体層をフィッシュネット型 Au 電極と裏面電極により挟み込んだ MSM 電池は、実機レベルにおいて電気を取り出せる 1 つの方法といえる。本研究期間において、この MSM の構造が製作可能であり、波長選択性も確認することができた。しかしながら、タングステンやニッケルといった金属製ピラー構造表面間あるいは AZO といった酸化物ピラー構造表面間において得られた桁違いに大きな近接場ふく射エネルギー輸送を既存に近い電池による発電に適用する場合には、フィッシュネット電極にさらに一工夫を加えた構成に展開する必要があることが示唆された。それは、ピラーアレイ構造による近接場輸送は、ピラー側面の表面プラズモンが支配的であるのに対して、製作した MSM 構造電池においては、フィッシュネット構造の開口部が広く、電極による導波管および薄膜 GaSb 層のファブリーペロー干渉による波長選択吸収であることが分かってきており、これらを結合することが今後の発展につながると考えられ、本研究の成果は今後の展開に大いに寄与するものである。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Kazuma Isobe, Katsunori Hanamura	4. 巻 134
2. 論文標題 Selective absorption of a thermophotovoltaic cell using a thin semiconductor and a top fishnet-structured electrode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 807-814
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 Naphatsorn Vongsoasup, Katsunori Hanamura	4. 巻 26
2. 論文標題 Effects of near-field radiation and hyperbolic modes on a TPV system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thermal Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 29-38
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 Naphatsorn Vongsoasup, Katsunori Hanamura	4. 巻 Vol. 26, No. 1
2. 論文標題 Effects of near-field radiation and hyperbolic modes on a TPV system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Thermal Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 29-38
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 花村 克悟	4. 巻 Vol. 63, No. 1
2. 論文標題 エネルギーハーベスティングに向けた近接場光発電の可能性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 30-35
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 Kazuma Isobe, Daisuke Hirashima, Katsunori Hanamura	4. 巻 No. 115
2. 論文標題 Spectrally enhanced near-field radiation transfer using nanometer-sized pillar array structured surfaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 467-473
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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 花村 克悟 , 加藤 健太 , 磯部 和真
2. 発表標題 金属 / 半導体 / 金属サンドウィッチ構造共振器による選択波長光起電力発電
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊野 智之 , 花村克悟
2. 発表標題 積層ARコート石英ガラスの最適化による波長選択ひく射輸送
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯部 和真 , 花村 克悟
2. 発表標題 透明導電性ナノ構造電極による近接場光発電デバイス
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口 祐司 , 磯部 和真 , 加藤 健太 , 花村 克悟
2. 発表標題 金属・絶縁体ナノ構造放射体からの近接場光制御に関する研究
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口 祐司 , 磯部 和真 , 平島 大輔 , 花村 克悟
2. 発表標題 金属・誘電体-金属構造放射体と金属-半導体-金属構造熱光起電力電池間における近接場ふく射輸送制御
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井黒 拓末 , Vongsoasup Naphatsorn, 花村 克悟
2. 発表標題 ナノスケールギャップ熱光起電力発電に関する研究
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊野 智之 , 花村 克悟
2. 発表標題 積層ARコート石英ガラスフィルターの分光半球透過率計測
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯部 和真 , 花村 克悟
2. 発表標題 ナノサイズ網状金属電極を用いた金属・半導体・金属多層膜TPV電池
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯部 和真 , 花村 克悟
2. 発表標題 金属-半導体-金属多層膜構造によるふく射吸収率スペクトル制御
3. 学会等名 第39回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊野 智之 , 花村 克悟
2. 発表標題 釉薬ベース希土類酸化物膜の熱物性計測
3. 学会等名 第39回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯部和真 , 沖野亮太 , 花村克悟
2. 発表標題 金属 半導体 金属多層膜型TPV発電デバイスに関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部 第25期 総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF NANOMETER-SCALED PHENOMENA TO MACROSCOPIC ENERGY CONVERSION SYSTEMS
3. 学会等名 Thermal Engineering Conference of KSME 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 近接場光の波長制御とTPV発電
3. 学会等名 メタマテリアル第187委員会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御
3. 学会等名 平成30年度繊維学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 熱光起電力発電に向けたふく射輸送の波長制御
3. 学会等名 第二回フォノンエンジニアリング研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 High energy conversion efficiency systems supported by nanometer-scaled transport phenomena in phase-interface-Spectral controlled thermophotovoltaics and isotope labeling in solid oxide fuel cells-
3. 学会等名 Thermo Fluid Colloquium（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 Nanometer-scaled Transport Phenomena in Power Generation Systems using Thermophotovoltaic Cells and Solid Oxide Fuel Cells
3. 学会等名 ISTP29（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御
3. 学会等名 さきがけ「熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御」講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御
3. 学会等名 JSTさきがけ講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuma Isobe, Katsunori Hanamura
2. 発表標題 Control of spectral absorptance of thermophotovoltaic cell using metal-semiconductor-metal multi-layer
3. 学会等名 12th Japan-Korea-China Student Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuma Isobe, Katsunori Hanamura
2. 発表標題 Fundamental Study of Spectral Near-Field Radiation Control using Periodical Pillar Array Structure
3. 学会等名 The Sixth International Education Forum on Environment and Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Vongsoasup Naphatsorn, Wataru Sugimoto, Kazuma Isobe, Katsunori Hanamura
2. 発表標題 A FEASIBILITY STUDY OF THERMOPHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM USING NEAR-FIELD RADIATION
3. 学会等名 The 9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 A sustainable conversion systems through nano/micro scaled phenomena
3. 学会等名 Seminar in Johns Hopkins University (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 Spectral control of near-field radiation transfer and its application for TPV generation of electricity
3. 学会等名 9th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura, Kazuma Isobe
2. 発表標題 Parametric study of nanometer- sized pillar array structure for spectrally enhanced near-field radiation transfer
3. 学会等名 9th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunori Hanamura
2. 発表標題 Thermal engineering approach for high efficiency energy conversion systems using nanoscaled technologies
3. 学会等名 Seminar in St. Andrews University (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 花村克悟
2. 発表標題 熱ふく射から電力への変換技術：遠方場及び近接場を利用した熱光起電力発電への挑戦
3. 学会等名 INCHEMTOKYO2017（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 磯部 和真, 平島 大輔, 花村 克悟
2. 発表標題 矩形ピラー構造間における近接場ふく射輸送の波長選択と促進に関する研究
3. 学会等名 第54回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口 祐司, 磯部 和真, 平島 大輔, 花村 克悟
2. 発表標題 Metal-Insulator-Metal 構造を有する放射体による近接場ふく射輸送制御に関する研究
3. 学会等名 第54回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 花村 克悟, Vongsoasup Naphatsorn
2. 発表標題 エナジーハーベスティングとしての近接場光発電の可能性とクロージングリマーク
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 花村克悟
2. 発表標題 近接場光輸送の波長制御とその発電システムへの可能性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花村 克悟
2. 発表標題 選択波長近接場ふく射輸送によるTPV発電
3. 学会等名 フォトニクス技術フォーラム第4回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 光電変換素子	発明者 花村 克悟, 磯部 和真	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/008198	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 熱光起電力素子、熱光起電力装置および熱光起電力素子の製造方法	発明者 花村克悟	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-170690	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光電変換素子	発明者 花村克悟	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-036992	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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