

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06205

研究課題名(和文)カーボンナノチューブフォレスト熱メタマテリアル

研究課題名(英文)Carbon Nanotube Forest Thermal Radiative Metamaterial

研究代表者

古田 寛 (Furuta, Hiroshi)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：10389207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンナノチューブ(CNT)が高密度成長したCNTフォレストの高光吸収率を利用した、赤外領域熱メタマテリアルを研究した。高配向CNTフォレストでの低反射率0.077%( $\lambda=750\text{nm}$ )と低配向での長波長高反射率スペクトルの機構を実験と計算から明らかにした。CNTフォレストと触媒微粒子のフラクタル画像解析で、触媒の均一配置と触媒アニーリングステージの定量化に成功した。SRR形状CNTフォレストメタマテリアルのパターン配線設計による赤外吸収増加、フィッシュネット型霜柱状CNTフォレストメタマテリアルでの赤外吸収増加に成功し、赤外領域CNTフォレスト熱メタマテリアルの基本動作を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電磁波波長以下サイズの電極と電磁波との共鳴現象である光学メタマテリアルは、太陽電池や通信技術等の応用で、光エネルギー利用効率向上に期待されている。カーボンナノチューブ(CNT)が高密度束状成長したCNTフォレストの高い光吸収率を利用し、CNTフォレストで構成する高効率赤外領域メタマテリアルを提案、熱エネルギー貯蔵デバイスを目指して研究を行った。CNTフォレストをメタマテリアルパターン形状に加工したCNTフォレストメタマテリアル作製して赤外線吸収増大効果が得られ、赤外領域CNTフォレストメタマテリアルの基本動作を実証した。

研究成果の概要(英文)：By using the high optical absorption of carbon nanotube (CNT) forests, we studied thermal metamaterials in the infrared region. The mechanism of the reflectance spectra of CNT forests of low reflectivity of 0.077% ( $\lambda=750\text{nm}$ ) in highly oriented CNT forests and high reflectivity for randomly oriented CNT forests in long wavelength was clarified by experiments and calculations. Fractal image analysis was used to quantify the uniform placement of the catalyst particles and the catalyst annealing stage. Increased infrared absorption by patterned wiring design of SRR-shaped CNT forest metamaterials, and Infrared absorption was successfully increased in fish-net type frost-column like CNT forest metamaterials. The basic operation of CNT forest thermal metamaterials was demonstrated.

研究分野：薄膜・表面界面物性 電気電子材料工学 ナノ材料 光工学 エネルギー工学 熱工学

キーワード：カーボンナノチューブ 熱メタマテリアル 光吸収 スプリットリングレゾネータ フィッシュネット 赤外吸収 メタマテリアル CNTフォレスト

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

カーボンナノチューブ (CNT) は、グラフェンシートが同心円筒状をとる炭素同素体で、軸方向への電流耐性や熱伝導性に優れる。CNT が基板上に高密度垂直配向成長した CNT フォレストの構造異方性を表す面白い特徴として、CNT 軸方向からの入射光に対し、幅広い波長での光学・電磁場吸収に優れ、紫外から赤外領域で光吸収率が 0.98-0.99 と黒体に最も近い材料であることが知られ、応用に期待が寄せられている。CNT フォレストは、高い異方性をもつ光学吸収特性と熱伝導性において、他の材料にはない特徴がある。電磁波波長以下サイズの電極と電磁波との共鳴現象である光学メタマテリアルは、太陽電池や通信技術への応用で、光エネルギー利用効率向上に期待されている。熱エネルギー回生に、金属メタサーフェスを利用する場合には、吸収効率が低い課題があり、CNT フォレスト黒体は吸収率の高さからナノロッドメタマテリアル電極材料として有望な材料となる可能性がある。

### 2. 研究の目的

カーボンナノチューブ (CNT) が高密度束状成長した CNT フォレストの高い光吸収率を利用し、CNT フォレストで構成する高効率赤外領域メタマテリアルを提案、熱エネルギー貯蔵デバイスを試作評価することを研究目的とした。

### 3. 研究の方法

CNT フォレスト熱メタマテリアルを用いた蓄熱デバイスの要素技術として、(a1)CNT フォレスト構造体の配向制御、(a2)メタマテリアルパターン配線設計加工、(a3)CNT フォレストメタマテリアルの赤外領域応答評価を研究した。

### 4. 研究成果

CNT(カーボンナノチューブ)フォレストで構成する赤外領域メタマテリアルでは赤外領域の光学特性制御を必要とし、CNT フォレストなどナノカーボン構造体配線を用いた熱メタマテリアル構成要素技術を研究した。

CNT フォレスト配線を用いた熱メタマテリアル構成要素技術を開発した。CNT フォレスト構造制御では、パルスガス供給制御により  $1\mu\text{m}$  高さの均一 CNT フォレスト合成を制御した。赤外光吸収率増加を目的に、Taguchi method に基づいた合成条件最適化を行い、高さ  $21\pm 0.75\mu\text{m}$  に調整した様々な密度配向性の CNT フォレストを合成、UV-VIS 全反射スペクトルと断面 SEM による構造解析を行い、CNT フォレスト構造を  $4.5\pm 1.7\times 10^{12}$  CNT/cm<sup>2</sup> の高密度・高配向に作製することで、反射率を 0.077% ( $\lambda=750\text{nm}$ ) に低下できること明らかにした (図 1) [1]。

高さをそろえ配向性の異なる CNT フォレストの全反射スペクトルを比較すると、垂直配向 CNT は 200~900nm の UV-VIS 波長領域全域で反射率が低く、配向性の低いランダム CNT では長波長領域で反射率が上昇した (図 1)。入射電磁波に対し配向性を変えたカーボンナノチューブフォレストの光学特性を明らかにするため、CNT を金属ナノロッドで模擬したフォレスト構造について、赤外から紫外領域にわたる FDTD 計算を行い、入射電磁場に対する配向・密度依存性を調べた。垂直配向 CNT フォレストが示す幅広い領域での低反射率と、低配向フォレストが示す長波長 (低エネルギー) での高反射率と短波長での低反射率について、入射電磁場の電場成分と平行な導体ナノロッド上のキャリア電子による反射であることを明らかにした (図 2) [2]。CNT フォレストの光学スペクトルでは配置の周期に応じたフォトニックバンドが形成され、特徴的な反射ピークシフトに CNT フォレスト密度依存性が表れた [2]

CNT フォレストの配向性・密度制御を目的として CNT フォレスト形態のフラクタル解析を行い、触媒ナノ粒子形成、CNT フォレスト成長密度、ラマンマッピングの自己相似性の触媒厚さ依存性を調べた。図 3 (左) に Fe 触媒膜厚 (0.8, 1.0, 1.2nm) の th-SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(30nm)/Fe 触媒のアニール後 AFM 像、合成した CNT フォレスト断面 SEM 像、ラマン G/D 強度マッピング画像を示す。膜厚が 0.8nm と薄くなるに従い微粒子サイズが小さくかつ高密度化することは従来報告にあるが、従来報告にないボックスカウンティングによるフラクタル画像の相関解析を新規に行った。図 3 (右) に触媒サイズ分布・CNT 断面 SEM 密度分布・ラマン G/D 比マッピング画像のフ

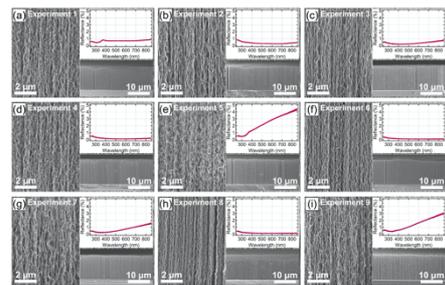


図 1. 高さ  $21\mu\text{m}$  に合成した様々な配向性の CNT フォレスト断面 SEM 像とその UV-VIS 全反射スペクトル [1]

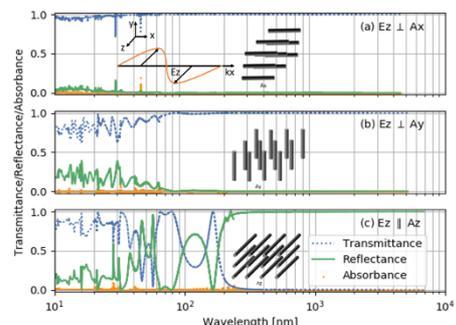


図 2. 入射電磁場電場成分 E<sub>z</sub> 方向に (a) 垂直 E<sub>z</sub> ⊥ A<sub>x</sub>, (b) 垂直 E<sub>z</sub> ⊥ A<sub>y</sub>, (c) 平行 E<sub>z</sub> // A<sub>z</sub> に配向したメタルナノロッドからの透過・反射・吸収スペクトル。電場と平行配置した (c) で長波長側反射率の上昇を再現した。 [2]

ラクトル次元の触媒膜厚依存性を示す。触媒膜厚が薄膜化することで、フラクタル次元が上昇することを明らかにした。触媒薄膜のアニールプロセスにおいて、デウェット化・オストワルド熟成・拡散プロセスを経て、触媒膜厚(0.8~1.2nm)に依存し、触媒サイズ分布と均一配置するプロセスをフラクタル解析により明らかにした[3]。自己組織化 CNT フォレスト構造と自己相似性スケーリングが起きる触媒アニーリングの進行度合い(ステージ)のフラクタル指数による定量評価にはじめて成功した[3]。

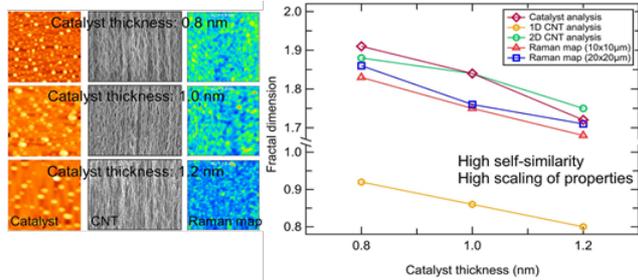


図 3. (左)Fe 触媒膜厚 0.8, 1.0, 1.2nm の Fe 触媒のアニール後 AFM 像および合成した CNT フォレスト断面 SEM 像、ラマン GD 比強度マッピング画像 (右) フラクタル次元の Fe 触媒膜厚依存性 [3]

カーボンナノチューブフォレスト構造制御を目的として、アニール後の触媒微粒子の AFM 画像から求めた触媒サイズと配置の機械学習画像解析を行った[4]。触媒膜厚依存性(0.4~1.1nm)を変えてスパッタ投入電力依存性(25, 30, 35W)を調べ、触媒膜厚 0.8~1.0nm の範囲において、低投入電力、水素還元雰囲気下アニールにより、触媒微粒子間距離が短く、高密度の触媒配置ができることを明らかにした(図 4)。

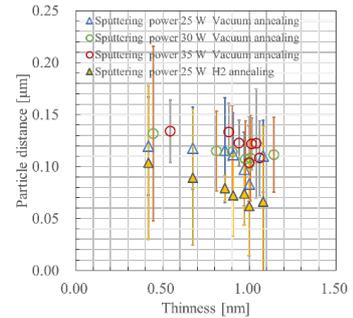


図 4. アニール後形成された触媒微粒子の中心間距離の触媒膜厚依存性。スパッタ投入電力(25,30,35W)、真空/水素雰囲気アニール[4]

メタマテリアル配線へのグラフェンの適用を目的とし、ハロゲンランプ加熱 CVD 装置でグラフェン合成を行った。基板温度 456°C の比較的低温環境下で、熱酸化 Si 基板上 Ni 触媒 上に G/D 比 6.5 の多層グラフェンを合成した[5]。

赤外領域 CNT フォレストメタマテリアルの設計および評価の研究を行った。本研究期間前に我々が開発した FIB 加工による触媒形状パターン化技術[6]を用いて、基板上的 Fe 触媒パターンを SRR 形状に加工した後、熱 CVD 法により触媒パターン形状に CNT フォレストを合成した。図 5 に SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルの外観図と、触媒パターン形状の SEM 像、合成した CNT フォレストメタマテリアルの SEM 像を示す[7]。SRR 形状に配置した Fe 触媒薄膜(図 5 b)パターン上に、SRR 形状の CNT フォレスト(図 5 c)を作製した。

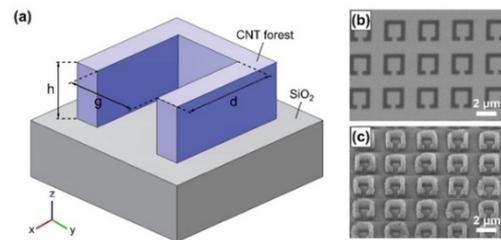


図 5. (a)開発した SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルの形状パラメータを表す概略図。h 高さ; d デイプ深さ; g ギャップサイズ(b)AlO/Fe 触媒基板の SEM 像(c)SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルの SEM (チルトビュー) [7]

SRR 型 CNT フォレストメタマテリアルの赤外吸収特性の電極パターン形状依存性について調べた。図 6 (a-e) に、SRR のギャップサイズ(図 5 (a)参照)を 0nm (ギャップなし) から 1.2 μm まで変更して作成した SRR 型 CNT フォレストメタマテリアルの SEM 像を示す。チルトビューで明確にギャップサイズを制御して作成できたことがわかる。FT-IR 顕微鏡を用い、それぞれの反射率・透過率を測定し求めた吸収率スペクトルを図 6 (h) に示す。ギャップサイズが 0~1.2 μm の範囲で 600nm のギャップサイズにおいて、最大の吸収率が得られることがわかり、SRR パターン形状によって吸収率を設計できることができた[7]。

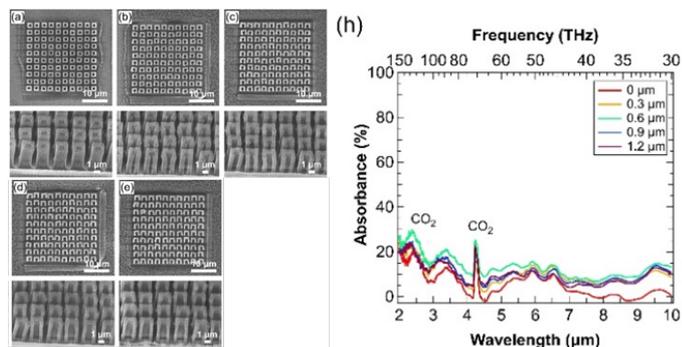


図 6. (a)-(e)ギャップサイズを 0~1.2 μm とした SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルの表面 SEM 像 (h) FT-IR 顕微鏡で測定した赤外吸収率スペクトル。ギャップサイズ 0.6 μm で吸収率が最大化した。[7]

図 7 に SRR 型 CNT フォレストメタマテリアルの赤外領域電磁場応答について、FDTD 計算ソフトウェア Poynting を用いて計算した。図 7 に 20THz 入射電磁場の下での空間電場強度分布図と動作機構モデル図を示す。CNT フォレストで構成する SRR 電極のギャップに高い電解集中が生じ、SRR 電極への LC 共鳴がおきていることが明らかとなった。伝導電子と電子正孔対が誘起電流となり CNT フォレスト内で電磁場吸収を起こす機構を提案した[7]。

以上のように、SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルについて、赤外吸収のパターン配線形状依存性を調

べ、SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアルの赤外吸収増大化に成功し、赤外領域 CNT フォレストメタマテリアルの基本動作を実証した。

霜柱状 CNT フォレストをパンチングメタル形状メタマテリアルパターンに加工することで赤外光吸収増大効果を見出した[9]。熱 CVD 法で薄膜触媒から CNT を合成する際、触媒膜厚などの条件が揃えば、炭素膜を CNT が支持した三次元構造が得られることが Kondo らにより報告されている[8]。我々は  $C_2H_2$  原料ガスの熱 CVD 法で触媒膜厚と合成時間を調整すること

で、光学干渉を示す霜柱状 CNT フォレストを形成することに成功した (図 7a, b) [9]。基板の触媒薄膜を FIB 加工し、線幅 400~600nm にバリエーションを持つフィッシュネット (パンチングメタル) 形状のパターン (図 8c) に加工後、熱 CVD 合成を行うことで、図 8(d-g) に示すフィッシュネット型の霜柱状 CNT フォレストを作成した[9]。図 9 にフィッシュネット型霜柱状 CNT フォレストの透過率・反射率スペクトルを示す。孔のない霜柱状 CNT フォレスト構造 (図中 without pattern) に対し、フィッシュネット構造とすることで透過率反射率ともに低下し、吸収率が増加したことを示し、フィッシュネット型霜柱状 CNT フォレストが赤外域の光吸収メタマテリアルとして動作することを報告した[9]

デバイス実証として、配線加工しない垂直配向 CNT フォレスト及び塗布 CNT フィルムのハロゲンランプ加熱による昇温特性を調査したが、メタマテリアル配線加工した CNT フォレストによる熱エネルギー貯蔵デバイス実証には至らなかった。

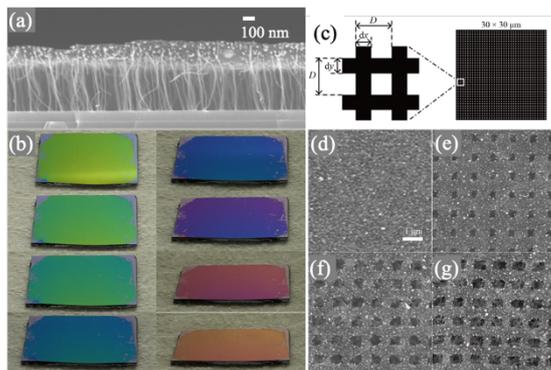


図 9. (a)霜柱状 CNT フォレスト断面 SEM 像 (b)角度を変えて撮影した干渉色を示す試料(c)フィッシュネットパターン形状概要図(d)試料表面(e-g)フィッシュネット構造を有する霜柱状 CNT フォレスト表面 SEM 像[9]

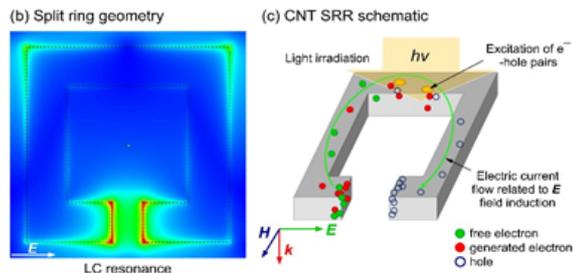


図 7. SRR 形状 CNT フォレストメタマテリアル(b) 20THz 電磁波入射のもとでの空間電場強度分布(c)動作機構モデル図[7]

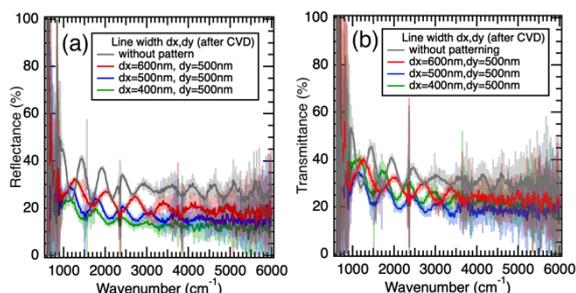


図 8. フィッシュネット形状にパターン加工した霜柱状 CNT フォレストの(a)反射率(b)透過率スペクトル。孔のない構造 (without pattern) に比較し、孔を開ける事で反射率と透過率が低下し、光吸収が増大した。[9]

## 引用文献

- [1] A. Pander, K. Ishimoto, A. Hatta, and H. Furuta, "Significant decrease in the reflectance of thin CNT forest films tuned by the Taguchi method", *Vacuum* **154** (2018) 285-295.
- [2] H. Furuta, A. Pander, H. Miyaji, S. Shimada, K. Takano, A. Hatta, M. Nakajima, "Reflectance of Carbon Nanotube Forest Metamaterials", *7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON2018)*, (July 8-12, 2018, The Prince Hakone Lake Ashinoko, Kanagawa, Japan)
- [3] A. Pander, T. Onishi, A. Hatta, H. Furuta, "Study of self-organized structure in carbon nanotube forest by fractal dimension and lacunarity analysis", *Materials Characterization* **160** (2020) 110086.
- [4] F. Nagamine, T. Onishi, S. Hayashi, A. Pander, A. Hatta, H. Furuta, "Image analysis of catalyst formation process for the high-density growth of CNT forest", 第 28 回日本 MRS 年次大会 (2018.12.19 北九州国際会議場、北九州市)
- [5] M. Komori, T. Onishi, A. Pander, A. Hatta, H. Furuta, "Properties of graphene films synthesized by lamp heating CVD", *The 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG55)*, (2018.09.13 Tohoku Univ., Aobayama campus, Sendai)
- [6] A. Pander, A. Hatta, H. Furuta, "FIB Secondary Etching Method for Fabrication of Fine CNT Forest Metamaterials", *Nano-Micro Lett.* (2017) 9:44.
- [7] A. Pander, K. Takano, A. Hatta, M. Nakajima, H. Furuta, "Shape-dependent infrared reflectance properties of CNT forest metamaterial arrays", *Optics Express* **28**(1) (2020)607-625.
- [8] D. Kondo, S. Sato, Y. Awano, "Self-organization of novel carbon composite structure: Graphene multi-layers combined perpendicularly with aligned carbon nanotubes", *Appl. Phys. Express* **1**(2008) 0740031.
- [9] H. Miyaji, A. Pander, K. Takano, H. Kohno, A. Hatta and H. Furuta, "Optical reflectance of patterned frost column-like CNT forest for metamaterial applications", *Diam. Relat. Mater.* **83**(2018)196-203.

## 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 1件）

1. 著者名 Pander Adam, Onishi Takatsugu, Hatta Akimitsu, Furuta Hiroshi	4. 巻 160
2. 論文標題 Study of self-organized structure in carbon nanotube forest by fractal dimension and lacunarity analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 110086 ~ 110086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2019.110086	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 Pander Adam, Takano Keisuke, Hatta Akimitsu, Nakajima Makoto, Furuta Hiroshi	4. 巻 28
2. 論文標題 Shape-dependent infrared reflectance properties of CNT forest metamaterial arrays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 607 ~ 607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.381817	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 Miyaji Hiroki, Pander Adam, Takano Keisuke, Kohno Hideo, Hatta Akimitsu, Nakajima Makoto, Furuta Hiroshi	4. 巻 83
2. 論文標題 Optical reflectance of patterned frost column-like CNT forest for metamaterial applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 196 ~ 203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2018.02.004	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 Pander Adam, Takano Keisuke, Hatta Akimitsu, Nakajima Makoto, Furuta Hiroshi	4. 巻 80
2. 論文標題 The influence of the inner structure of CNT forest metamaterials in the infrared regime	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 99 ~ 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2017.10.009	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 Pander Adam、Ishimoto Kouki、Hatta Akimitsu、Furuta Hiroshi	4. 巻 154
2. 論文標題 Significant decrease in the reflectance of thin CNT forest films tuned by the Taguchi method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 285 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2018.05.020	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 4件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 H. Furuta, A. Pander, A. Hatta
2. 発表標題 Nano carbon structures for Metamaterials”
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会、国際シンポジウム、先進プラズマ技術が拓くナノマテリアルズフロンティア (2018.12.18-20, 北九州国際会議場・西日本総合展示場, 北九州市) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長峰史弥、大西臣禎、林 祥生、Adam Pander、八田章光、古田寛
2. 発表標題 “CNT高密度合成のための触媒微粒子形成の画像解析”
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小森雅樹、大西臣禎、Adam Pander、八田章光、古田寛
2. 発表標題 “ランプ加熱CVD法を用いた基盤上ナノカーボン構造の形成”
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Komori, T. Onishi, A. Pander, A. Hatta, H. Furuta
2. 発表標題 “ Properties of graphene films synthesized by lamp heating CVD ”
3. 学会等名 The 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG55)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Adam Pander, Takatsugu Onishi, Fumiya Nagamine, Sachio Hayashi, Akimitsu Hatta, Hiroshi Furuta
2. 発表標題 Fractal analysis of self-organized carbon nanotube forest structure
3. 学会等名 The 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG55)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Furuta, Adam Pander, Keisuke Takano, Akimitsu Hatta, Makoto Nakajima
2. 発表標題 Optical Properties of Carbon Nanotube Forest Metamaterials
3. 学会等名 The 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG55)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Nagamine, T. Onishi, S. Hayashi, A. Pander, A. Hatta, and H. Furuta
2. 発表標題 “ Image analysis of catalyst formation process for the high-density growth of CNT forest ”
3. 学会等名 第 2 8 回日本 M R S 年次大会 (2018.12.18-20, 北九州国際会議場・西日本総合展示場, 北九州市)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Furuta, A. Pander, H. Miyaji, S. Shimada, K. Takano, A. Hatta, M. Nakajima
2 . 発表標題 "Reflectance of Carbon Nanotube Forest Metamaterials"
3 . 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Pander*, F. Nagamine, S. Hayashi, T. Onishi, K. Takano, M. Nakajima, A. Hatta, H. Furuta
2 . 発表標題 "Study of Carbon Nanotube Absorption by Fractal Analysis of Catalyst Nanoparticles"
3 . 学会等名 12th New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Furuta, A. Pander, K. Takano, H. Miyaji, A. Hatta, M. Nakajima
2 . 発表標題 Shape Effects of CNT Forest Metamaterials on IR and THz Properties
3 . 学会等名 JSAP-QSA Joint Symposia 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Miyaji, A. Pander, K. Takano, A. Hatta, M. Nakajima, and H. Furuta
2 . 発表標題 Optical reflectance of patterned frost column-like CNT forest for metamaterial applications
3 . 学会等名 NDNC (11th Conference on New Diamond and Nano Carbons) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Pander, K. Takano, M. Nakajima, A. Hatta, H. Furuta
2. 発表標題 The influence of the inner structure of CNT forest on the IR properties
3. 学会等名 NDNC (11th Conference on New Diamond and Nano Carbons) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮地弘樹, Pander Adam, 高野恵介, 八田章光, 中嶋誠, 古田寛
2. 発表標題 パターンニングした霜柱状CNTフォレストの赤外特性
3. 学会等名 2017年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Pander, T. Onishi, A. Hatta, H. Furuta
2. 発表標題 Self-organized structures for carbon nanotube forest metamaterials
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Frontier Technology (ISFT2019), (2019.8.25, Ambassador Jomtien Pattaya, Thailand) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Furuta, A. Pander, H. Miyaji, S. Hayashi, M. Komori, F. Nagamine, J. Udorn, and A. Hatta
2. 発表標題 Structure Control of Nanocarbon Metamaterials
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Frontier Technology (ISFT2019), (2019.8.25, Ambassador Jomtien Pattaya, Thailand) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Pander, T. Onishi, A. Hatta, H. Furuta
2. 発表標題 Fabrication of self-organized fishnet structures for carbon nanotube forest metamaterials
3. 学会等名 11th Symposium on Vacuum based Science and Technology (2019.11.19, Aquarius Hotel, Kolobrezeg, Poland) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Furuta
2. 発表標題 Nano-carbon materials for energy and metamaterials applications
3. 学会等名 The 6th International Conference on Nano Science and Nanotechnology (ICNST2019), (2019.12.13, Hotel Taj Samudra, Colombo, Sri Lanka) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉野凱, 大石正樹, 岸見泰晟, パンダー アダム, 八田章光, 古田寛
2. 発表標題 蓄熱デバイスに向けたCNTフォレストの光吸収特性評価
3. 学会等名 第14回応用物理学・物理系中国四国支部学術講演会, (2019.08, 高知工科大学, 高知)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸見泰晟, 大石正樹, 杉野凱, パンダー アダム, 八田 章光, 古田寛
2. 発表標題 太陽熱温水器を目指したCNT塗布膜の透過特性
3. 学会等名 第14回応用物理学・物理系中国四国支部学術講演会, (2019.08, 高知工科大学, 高知)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古田寛
2. 発表標題 ナノカーボン材料のメタマテリアルへの応用
3. 学会等名 第4回構造ナノ化学研究会(2020.01.11, 高知工科大学永国寺CP, 高知) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Furuta, A. Pander, A. Hatta
2. 発表標題 Nanocarbon metamaterials for optronics and energy devices
3. 学会等名 ISPlasma2020/IC-PLANTS2020, (Nagoya U., Aichi) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Advanced Energy Nanomaterials Lab <a href="http://gecko.eng.kochi-tech.ac.jp/">http://gecko.eng.kochi-tech.ac.jp/</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
研究分担者	P A N D E R A D A M  (Pander Adam)  (10803869)	高知工科大学・システム工学群・助教 ( P D )    (26402)	