

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02079

研究課題名(和文) ナノ表面修飾によるカーボンナノチューブ伝導特性の高機能化

研究課題名(英文) Improvement of the conduction properties of carbon nanotubes by nano-surface modification

研究代表者

千足 昇平 (Chiashi, Shohei)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：50434022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：単層カーボンナノチューブ(単層CNT)の電気・熱伝導特性およびその外的要因からの影響を分析し、伝導特性の制御および高機能化を行った。単層CNTは歪みや温度、周辺の誘電率などによって敏感にその物性が変化することを応用し、表面修飾として六方窒化ホウ素層を単層CNT外側に直接合成することや、イオン液体などによるドーピング制御による伝導特性制御に成功した。また、新たに高品質な単層CNT薄膜作製技術も開発し、電子デバイス応用に向けても大きな進展を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単層CNTの実用的応用に向け、その優れた物性を損なわずに、デバイス等に組み込む技術が重要になる。本研究課題の成果により、単層CNTの表面や置かれた環境と、物性との関係性を明らかになることで、その指針を得たと言える。さらに、開発した単層CNT薄膜作製技術は任意のCNTサンプルに適用可能であり、不純物などを一切含まないことから、電子デバイス等への応用に向けて大きなブレイクとなることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The electrical and thermal conduction properties of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) and their effects from external factors were analyzed to control the conduction and to improve their functionality. Based on the fact that the properties of SWCNTs are sensitive to strain, temperature, and the dielectric constant of the surrounding area, we succeeded in controlling the conduction properties by directly synthesizing a hexagonal boron nitride layer on the outer surface of single-walled CNTs as a surface modification and by controlling doping with ionic liquids. We have also developed a new technology for fabricating high-quality single-wall CNT thin films, and have made significant progress toward the application of CNTs in electronic devices.

研究分野：分子熱工学

キーワード：単層カーボンナノチューブ 電気伝導特性 熱伝導特性 光学物性

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ナノ材料とは、ナノオーダーの有限サイズを持つ材料の総称である。その物性はバルク材料と異なるだけでなく、そのサイズに依存することから注目を集めており、多くの基礎的な研究が行われている。同時に、ナノ材料の特異な物性を基にした工学的デバイス応用に向けた研究も進められているが、ナノ材料をマクロスケールで集積、インテグレーションする技術についてはまだ多くの課題があるのが現状である。

代表的なナノ材料の1つであるカーボンナノチューブ（carbon nanotube, CNT）においても、その発見以来多くの基礎物性研究が進められ、その結晶構造に依存して変化する興味深い物性が明らかされている。また、例えばバルクの銅（ $1.68 \mu\Omega \text{ cm}$ ）以下の低いCNT電気抵抗率（約 $1 \mu\Omega \text{ cm}$ ）や、数 1000 W/(m K) という他に類を見ない高い熱伝導率などが報告され、CNTの応用研究を盛んにさせる原動力となっている。

しかし、これらの優れた物性値に対して 10^2 から 10^3 倍も異なる（低伝導性な）物性値も報告されているのが現状である。この原因として、ナノ材料に対する測定技術の未熟さや、CNTサンプルの不均一性（異なる直径、層数、長さ、結晶構造、品質・結晶性、半導体性CNTの混在、孤立か絡まりあっているか等）、さらにはCNT物性計測時の環境の違いなど、多くの要因が考えられる。測定技術は改良が進み信頼ある値が得られつつあるが、最高値ばかりが注目されてしまい、何がCNT本来の（intrinsicな）物性値なのか、そしてどのような外的（extrinsicな）要因が物性に（悪）影響を与えているのかについての学術的な問いは非常に難しく、ほとんど未解明な状況にある。同時に、これら未解明な問題が実際のCNT応用における大きな障害にもなっている。

2. 研究の目的

本研究課題では、CNT物性で重要な電気伝導特性および熱伝導特性に着目し、これら伝導特性が受ける外的要因を実験的に明らかにすると同時に、その本来の物性および物性と外的要因との関係性を理論的に解明することを目的として研究を進める（図1）。CNTの本来の物性の分析を可能にするために、CNTを空間に架橋させた架橋CNT（図2. 中央の電子顕微鏡像）を構築し分析、伝導特性計測を行う。外的要因としては、基板との接触、分子のCNT表面への吸着、コーティング・堆積物質などがあり、これらナノスケールの修飾物質の状態やCNTとの相互作用を光学計測法で明らかにしていく。同時に、測定環境（雰囲気ガス種・圧力、温度や電場など）の効果についても検討していく。要因を明らかにするだけでなく、電気と熱伝導性を独立に制御することで、その応用目的に応じた伝導特性を有するCNTサンプルを設計することも可能になる。以上のように、ナノスケールでの表面修飾効果を用いることで高機能なCNTの実現を目指していく。

3. 研究の方法

本研究課題では、以下の4点についての開発、解明を目指した。

1つ目は、架橋CNT構造の構築技術の開発である。これまでに、化学気相堆

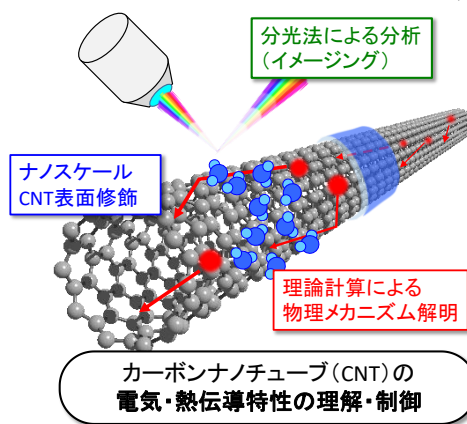


図1 ナノスケールの表面修飾技術を用いたCNT伝導特性（電気，熱）の制御とそのメカニズム解明。

積 (CVD) 法を用い、ピラー構造やスリット構造に対し直接架橋 CNT を合成する手法を独自に開発、発展させてきた。その為、非常に高品質で長い架橋 CNT を得ることができる。さらに、多様な架橋 CNT 構造作製を可能にするために、架橋 CNT の転写技術の開発を行う。予め合成した架橋 CNT を、ポリマーで作製したマイクロスタンプによるピックアップおよびドロップ技術を開発することで、目的となる電極構造や基板の上に理想的に架橋 CNT の構築が可能になる。このことにより、CNT 合成が直接できないような基板上においても架橋 CNT 構造を得ることができる。

2つ目は、CNT およびその表面状態の光学的分析法の開発である。一般に、伝導特性計測の際において、測定対象となる個々の CNT の詳細な構造分析をしない（多くの場合はできない）ことも多い。しかし、架橋 CNT 構造の利点を生かし多様な分光手法を用いることで、詳細な CNT の分析（直径、品質、長さ、結晶構造、孤立か複数の束構造を成しているか等）をすると同時に伝導特性計測を行うことで、CNT 構造と伝導性との関係性を明らかにしていく。分光法としては、CNT のフォノン情報を与えるラマン散乱分光、光学遷移エネルギーを与えるレイリー散乱、近赤外蛍光発光および光吸収分光法を用いる。その際、CNT 環境（温度や雰囲気ガス種・圧力、電場）にも注目し、これらの CNT 物性への影響を光学的に分析しながら、伝導特性への影響を解明していく。

さらに、架橋 CNT と基板上的 CNT との物性の比較を始めとし、CNT 表面への分子吸着効果、コーティング効果、また他のナノチューブ構造を外周に合成することによって得られるヘテロ成長多層ナノチューブ構造などといった、ナノスケールに置ける表面修飾効果の光学物性への影響を明らかにする（図2）。分光計測においては、レーザースポット等の限られた範囲（直径 1 μm 程度）におけるスペクトル取得だけでなく、2次元高感度カメラと可変波長透過フィルター（AOTF）を用いることで、波長分光と同時にその空間分布（直径数 100 μm ）を取得するイメージング分光計測も行っていく。イメージングによる空間分布の取得することで、CNT 表面や近傍環境が与える CNT 物性への影響をより詳細に分析していく。

3つ目が、CNT の電気および熱伝導特性計測である。電気伝導特性は4端子計測法による電流-電圧測定を行う（図2）。先に述べた光学計測を用いた結晶構造やその表面修飾状態を詳細に分析した CNT を測定対象とし、さらに電気伝導特性計測中も光学計測を同時に行うことで、伝導性の時間変化や不安定性なども含め分析し CNT 本来の伝導性およびその外的要因を明らかにしていく。ここで得られた知見を元に、更なる電気伝導性の向上も目指して行く。熱伝導特性は光学計測を用いた

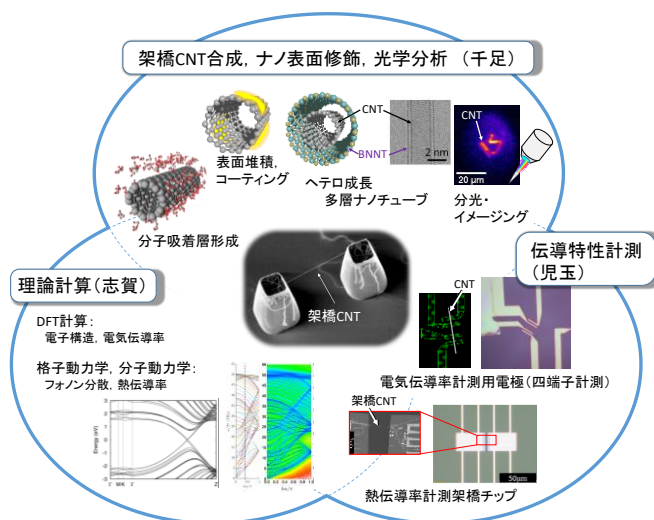


図2 本研究課題の共同研究体制。架橋 CNT を対象としたナノ表面修飾技術、光学計測手法、伝導特性計測および理論計算。

手法および定常法（両端に温度差を生じさせ、流れる熱流束を計測）によって行う（図2）。光学手法を用いた熱伝導計測は、CNTの発光や振動ピークの温度依存性などを利用しCNT温度分布を計測することで、熱伝導率など熱伝導特性を明らかにしていく。

4つ目に、第一原理計算、分子動力学計算等を用いることで、CNT物性への外的要因の効果の物理メカニズムの解明を目指す（図2）。シンプルな構造である架橋CNTは理論計算に適した系であるため、実験と理論との結果の直接的な比較が可能である。さらに、実験によってCNT本来の物性と外的要因とを切り分けることで、さらに効率よく計算・解析が可能になる。外的要因をCNTへの電荷移動や化学ポテンシャルの変調、散乱要素などと捉えると同時に、外的要因下での電子と格子振動（フォノン）との相互作用の変化等を明らかにしていく。

本研究課題では、CNTの伝導特性の外的要因を学術的に明らかにすることで、その外的制御の実現を目指した。電気および熱伝導率を100から1000倍の範囲で変化させることができれば、その目的に応じた最適な物性を有する（高機能化した）CNTを設計・実現することが可能になる。このような外的に機能化させたCNTは、実際のCNT応用時での形態（CNT薄膜やCNT撚り糸）においても、CNT自身が持つ優れた性能を十分に発揮することが期待される。

4. 研究成果

単層カーボンナノチューブ（単層CNT）の表面修飾技術として、単層CNTの外周に六方窒化ホウ素ナノチューブ（BN-NT）や別の単層CNTの直接合成を行った（図3）。それぞれ、単層CNT内包@BN-NT構造や二層CNT構造を得ることができ、内層となる単層CNTの物性を制御することが可能になる。ここでは、ラマン散乱分光法を用いて、内層の単層CNTを分析したところ、単層CNTに固有のラマンピーク（G-band）がダウンシフトすることが明らかになった。特に二層CNTにおけるダウンシフトのメカニズムはまだ未解明であるが、外層と内層間に生じた歪みが原因だと考えられる。

また、大気中におかれた単層CNTには水分子が吸着していることが分光法により明らかになり、その水分子が単層CNTに対し正孔を供給していることも明らかにすることができた。このように、単層CNTはその表面を通じて外部から物性を制御できることを示すことができた。また計算においては、複数の単層CNTが束構造（バンドル構造）を形成することで、お互いの相互作用により物性が変調してしまうことが分かった。

単層CNTの電気伝導特性の制御技術の確立を目指し、低密度の単層CNT薄膜に対してイオン液体によるゲーティングを行った。この低密度の単層CNT薄膜は10本程度の単層CNTが束（バンドル構造）になり、ネットワーク構造を形成している。イオン液体に浸されたバンドル単層CNTは、イオン液体に印加された電圧により電荷が誘起される。特に半導体性単層CNTに対しては、十分なドーピングがなされると金属的な伝導を示すことになる。この単層CNT薄膜に対して、イオン電極によるドーピング、温度、磁場等を制御しながらその電気伝導特性の分析を行った（図4）。結果、ドーピングに

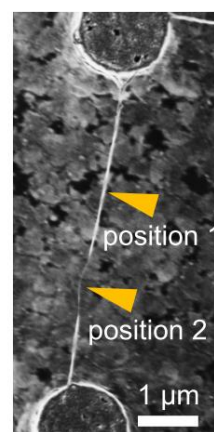


図3 外側にh-BN層を形成した架橋単層CNTのSEM像。

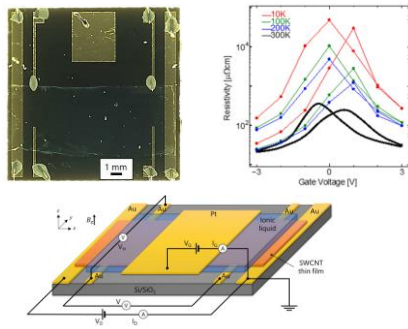


図4 作製した単層 CNT 薄膜電気伝導測定デバイス（4端子計測およびイオン液体によるゲート電圧制御が可能）と、その電気伝導率の変化。

よって大きく抵抗値が変化すること、その温度依存性から、単層 CNT 薄膜がホッピング伝導の特徴を有することが明らかになった。一般に用いられる可変ホッピング伝導 (VRH) モデルに基づき解析を行ったところ、数 100 nm 程度のホッピング長であること、このホッピング長は単層 CNT 長さ（約 10 μm ）より短いことが分かった。電気伝導と同様に、バンドル構造を有した単層 CNT の熱伝導も低下することを明らかにした。さらに、数値計算を用いて、バンドル化した単層 CNT のネットワーク構造の電気伝導についても解析を行った。単層 CNT バンドル構造において、電子のホッピングを誘起するような電子輸送における障壁や電子の局在化が生じていることが推測され、孤立した金属性単層 CNT の電気抵抗率に比べ、バンドル化した単層 CNT の電気抵抗率は 1~2 桁大きくなる一因と考えられる。今回バンドルにおける抵抗増大の要因が明らかになったことを踏まえ、バンドル単層 CNT の低電気伝導化技術への展開が期待される。

1 本レベルの単層 CNT およびネットワーク構造を形成した多数の単層 CNT が薄膜の作製法の開発、その物性計測を行った。これまで単層 CNT 薄膜は、特殊な合成法によって作製した単層 CNT 薄膜のみを用いていたが、ここでは任意の合成法で作製された単層 CNT を非常に薄い（光透過率最大 95%）薄膜にする技術を開発した。高い電気伝導性を実現するため、単層 CNT 以外の物質の混入や単層 CNT が切断されるような処理を排除しながら、非常に希薄な単層 CNT の有機溶媒分散液を作製した。この時、有機溶媒としては、比較的単層 CNT を分散しやすいものを選択した。また比重が 1 よりも小さいものを用いることで、この単層 CNT 有機溶媒分散液を、水に流し込み水表面に薄い有機溶媒膜を形成した。この有機溶媒膜において、有機溶媒の蒸発および水層への拡散の結果、水面に単層 CNT 薄膜を得ることが出来る（図 5）。流し込む単層 CNT 有機溶媒分散液の量や濃度を変えることで、任意の密度、厚さの単層 CNT 薄膜の作製が可能であり、さらに水面に形成された単層 CNT 薄膜は任意の基板に転写することも可能である。電気伝導率、光透過率等の物性分析に成功し、同時に数値計算シミュレーション結果や分子吸着や化学ドーピング効果を検証し、単層 CNT のマクロレベルでの応用における重要な知見を得ることが出来た。一方で、1 本レベルの単層 CNT に対しては、ナノチューブ同士の接触による電気伝導率、熱伝導率への影響、またその外層に新たな CNT や六方窒化ホウ素チューブの形成による層間の相互作用について明らかにすることが出来た。

よって大きく抵抗値が変化すること、その温度依存性から、単層 CNT 薄膜がホッピング伝導の特徴を有することが明らかになった。一般に用いられる可変ホッピング伝導 (VRH) モデルに基づき解析を行ったところ、数 100 nm 程度のホッピング長であること、このホッピング長は単層 CNT 長さ（約 10 μm ）より短いことが分かった。電気伝導と同様に、バンドル構造を有した単層 CNT の熱

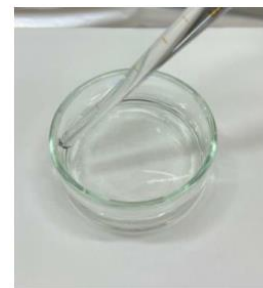


図5 有機溶媒に分散した単層 CNT を利用した薄膜作製。光透過率 90%以上の極薄の単層 CNT 膜の作製が可能。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Liu Ming, Hisama Kaoru, Zheng Yongjia, Maruyama Mina, Seo Seungju, Anisimov Anton, Inoue Taiki, Kauppinen Esko I., Okada Susumu, Chiashi Shohei, Xiang Rong, Maruyama Shigeo	4. 巻 15
2. 論文標題 Photoluminescence from Single-Walled MoS ₂ Nanotubes Coaxially Grown on Boron Nitride Nanotubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 8418 ~ 8426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c10586	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 Seo Seungju, Kim Sanha, Yamamoto Shun, Cui Kehang, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro, Inoue Taiki, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo, Hart A. John	4. 巻 180
2. 論文標題 Tailoring the surface morphology of carbon nanotube forests by plasma etching: A parametric study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 204 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.04.066	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 Hisama Kaoru, Maruyama Mina, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo, Okada Susumu	4. 巻 60
2. 論文標題 Indirect-to-direct band gap crossover of single walled MoS ₂ nanotubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 065002 ~ 065002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abffc6	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 Cha JinHyeok, Hasegawa Kei, Lee Jeonyoon, Stein Itai Y., Miura Asuka, Noda Suguru, Shiomi Junichiro, Chiashi Shohei, Wardle Brian L., Maruyama Shigeo	4. 巻 171
2. 論文標題 Thermal properties of single-walled carbon nanotube forests with various volume fractions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 121076 ~ 121076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121076	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 Zheng Yongjia, Kumamoto Akihito, Hisama Kaoru, Otsuka Keigo, Wickerson Grace, Sato Yuta, Liu Ming, Inoue Taiki, Chiashi Shohei, Tang Dai-Ming, Zhang Qiang, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Li Yan, Suenaga Kazu, Ikuhara Yuichi, Maruyama Shigeo, Xiang Rong	4. 巻 118
2. 論文標題 One-dimensional van der Waals heterostructures: Growth mechanism and handedness correlation revealed by nondestructive TEM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2107295118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2107295118	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 Otsuka Keigo, Ishimaru Ryoya, Kobayashi Akari, Inoue Taiki, Xiang Rong, Chiashi Shohei, Kato Yuichiro K., Maruyama Shigeo	4. 巻 16
2. 論文標題 Universal Map of Gas-Dependent Kinetic Selectivity in Carbon Nanotube Growth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 5627 ~ 5635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c10569	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 Wang Pengyingkai, Feng Ya, Xiang Rong, Inoue Taiki, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo	4. 巻 32
2. 論文標題 Phenomenological model of thermal transport in carbon nanotube and hetero-nanotube films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 205708 ~ 205708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/abe151	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 Saito Yuta, Tanaka Yuichiro, Yamaguchi Genta, Kato Takashi, Konabe Satoru, Chiashi Shohei, Homma Yoshikazu	4. 巻 129
2. 論文標題 Temperature dependence of photoluminescence spectra from a suspended single-walled carbon nanotube with water adsorption layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 014301 ~ 014301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0031611	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 Feng Ya, Li Henan, Hou Bo, Kataura Hiromichi, Inoue Taiki, Chiashi Shohei, Xiang Rong, Maruyama Shigeo	4. 巻 129
2. 論文標題 Zeolite-supported synthesis, solution dispersion, and optical characterizations of single-walled carbon nanotubes wrapped by boron nitride nanotubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 015101 ~ 015101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0035674	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 Okada Morihiro, Igimi Shinji, Inoue Taiki, Cheng Xiyuan, Xiang Rong, Chiashi Shohei, Inoue Yoku, Wang YuHuang, Maruyama Shigeo	4. 巻 124
2. 論文標題 Dry Drawability of Few-Walled Carbon Nanotubes Grown by Alcohol Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17331 ~ 17339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c04426	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 Arai Hayato, Inoue Taiki, Xiang Rong, Maruyama Shigeo, Chiashi Shohei	4. 巻 12
2. 論文標題 Non-catalytic heteroepitaxial growth of aligned, large-sized hexagonal boron nitride single-crystals on graphite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 10399 ~ 10406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR00849D	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20件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 S. Chiashi
2. 発表標題 Synthesis of single-walled carbon nanotube @ boron nitride nanotubes and their optical properties
3. 学会等名 14th Symposium on Nanotube Spectroscopy, Photonics, and Applications in Metrology (NT21 satellite) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 *K. Kozaki, M. Bamba, S. Sato, S. Yotsumoto, S. Maruyama, S. Chiashi
2 . 発表標題 Rayleigh Scattering Spectra from SWCNT@BNNT with Water Adsorption
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 *S. Sato, D. Ito, Y. Fujisaki, K. Kusakabe, K. Otsuka, S. Maruyama, S. Chiashi
2 . 発表標題 Nano Structure Fabrication of 1D and 2D hetero materials using direct and epitaxial growth and transfer method
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 *H. Date, M. Nagatomo, A. Kobayashi, T. Inoue, T. Fujii, E. I. Kauppinen, S. Maruyama, S. Chiashi,
2 . 発表標題 Hall effect measurement and ionic-liquid gating of single-walled carbon nanotube thin films,
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 *S. Chiashi, M. Bamba, S. Sato, T. Inoue, S. Maruyama
2 . 発表標題 Water adsorption phenomena of vertically-aligned SWCNT forests measured by Raman scattering spectroscopy,
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Date, T. Fujii, T. Inoue, E. I. Kauppinen, S. Maruyama, S. Chiashi,
2. 発表標題 Electrical Conduction of Mixed Semiconducting and Metallic Single-Walled Carbon Nanotube Thin Films in Magnetic Field,
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (2021 ICFPE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Date, T. Fujii, T. Inoue, E. I. Kauppinen, S. Maruyama, S. Chiashi
2. 発表標題 Temperature, magnetic field, and gate-voltage dependence on the electrical conductivity of single-walled carbon nanotube thin films
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 *H. Date, T. Fujii, T. Inoue, E. Kauppinen, S. Maruyama, S. Chiashi,
2. 発表標題 Electrical conductivity and magnetoresistance of SWCNT thin films under ionic-liquid gating
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 番場 雅典, 佐藤 周, 井ノ上 泰輝, 丸山 茂夫, *千足 昇平
2. 発表標題 ラマン散乱計測による垂直配向単層カーボンナノチューブ膜における水分子吸着現象分析
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 *寺田 行彦, 児玉 高志, 千足 昇平, 志賀 拓磨
2. 発表標題 カイラリティが異なる長尺な二層カーボンナノチューブのスペクトル熱輸送解析
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 *Kazuki Terauchi, Yusaku Shimada, Hiroki Date, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi,
2. 発表標題 Bundle structure effects on the electrical conductivity of CNT thin films
3. 学会等名 The 62nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 *Koki Kozaki, Ryotaro Kaneda, Shu Sato, Keigo Otsuka, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi,
2. 発表標題 Rayleigh scattering spectra from SWCNTs with water adsorption and encapsulation
3. 学会等名 The 62nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 *Shu Sato, Satoru Matsushita, Ryotaro Kaneda, Keigo Otsuka, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi,
2. 発表標題 Fabrication of Single-Walled Carbon Nanotubes Devices by Stacking Nanomaterials
3. 学会等名 The 62nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 *Kenta Kusakabe, Yuta Fujisaki, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Catalyst-free CVD synthesis of graphene on various crystal materials.
3. 学会等名 The 62nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 *M. Bamba, S. Sato, T. Inoue, S. Maruyama, S. Chiashi
2. 発表標題 Investigation of water adsorption on vertically-aligned single-walled carbon nanotubes by Raman spectroscopy
3. 学会等名 第60回記念フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 *H. Date, M. Nagatomo, A. Kobayashi, T. Inoue, T. Fujii, E. Kauppien, S. Maruyama, S. Chiashi,
2. 発表標題 Annealing Influence on Hall Measurement of Single-Walled Carbon Nanotube Thin Films.
3. 学会等名 第60回記念フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Homma and S. Chiashi,
2. 発表標題 Phase Transition of Water Confined in Carbon Nanotube Observed by Photoluminescence Spectroscopy
3. 学会等名 2020年度日本分光学会年次講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 *佐藤 周, 四元 聡, 番場 雅典, 井ノ上 泰輝, 丸山 茂夫, 千足 昇平
2. 発表標題 h-BN上へのガス配向成長CNTのラマン分光測定
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 *番場 雅典, 佐藤 周, 井ノ上 泰輝, 丸山 茂夫, 千足 昇平,
2. 発表標題 ラマン散乱分光による垂直配向単層カーボンナノチューブにおける水分子吸着効果の分析
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 *伊達 寛紀, 長友 実花, 小林 明香里, 井ノ上 泰輝, 藤井 武則, 丸山 茂夫, 千足 昇平,
2. 発表標題 単層CNT薄膜のホール効果計測における分子吸着の影響.
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 千足研究室HP
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/chiashi/index.html>
 東京大学工学部機械工学科千足研究室
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/chiashi/index.html>

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	児玉 高志 (Kodama Takashi) (10548522)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任准教授 (12601)	
研究分担者	志賀 拓磨 (Shiga Takuma) (10730088)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員 (82626)	

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