

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01377

研究課題名(和文) 内包分子による単一カーボンナノチューブの熱物性変調現象の解明とバルク材料への応用

研究課題名(英文) Investigation of thermal and thermoelectric transport properties in carbon nanotubes by encapsulated molecules and application to bulk materials

研究代表者

児玉 高志 (Kodama, Takashi)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任准教授

研究者番号：10548522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンナノチューブ(CNT)は分子内包やバンドル構造化により熱伝導性がナノレベルで変調されることが報告されており、ナノレベルからマクロスケールまで幅広い形態のCNT材料に対して一貫した熱伝導評価が重要となっている。本研究では、既存の測定手法であるマイクロデバイス定常法、および新たに開発したバルク四端子熱計測法によってCNTの分子内包効果の検証実験とCNTバルク構造体の熱伝導性の階層評価を行った。研究の結果、 sp^3 系炭素原子の内包によってCNTの熱伝導率の増強効果を実証した他、バンドル化による熱伝導率の大きな抑制効果を確認するなど、CNTの熱伝導性に関する新たな学理の構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CNTは単一チューブレベルで優れた熱伝導体であり、フレキシブル熱拡散材料や熱界面材料、熱電変換材料などの熱デバイスへの応用が囑望されている。しかしながら、応用に必須であるCNTバルク構造体においては熱伝導率の大幅な低下など、ナノレベルとは異なる挙動を示すことが報告されており、また、CNT内部の空間に分子を内包させることでその熱伝導性を変調させることが可能であることが明らかになっているが、実験による報告例は少ない。そのためCNTという優れた素材を産業応用する上でナノからマクロまで幅広い形態の伝導メカニズムの解明が不可欠であり、本研究成果は材料開発の観点から重要な知見を提供していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The thermal conductivity of carbon nanotubes (CNTs) is modulated at nano scale by encapsulated molecules and self-bundling. Thus, it becomes significant to reveal the thermal conduction mechanism of CNTs in a wide range of forms from nano level to macro scale. In this study, we performed experimental studies for the investigation of molecular encapsulation effect of CNTs and hierarchical thermal measurements of CNTs from the bundles to bulk structure. The classical microdevice steady-state method was applied to nano scale measurements, and the bulk-scale four-probe thermal measurement method was developed for macroscopic measurements. As a result, we demonstrate the effect of enhancing the thermal conductivity of CNT by the encapsulation of sp^3 carbons, and we have confirmed the large suppression effect of the thermal conductivity by self-bundling. Those results give a new insight in the thermal conduction phenomena of CNT-based materials.

研究分野：熱工学

キーワード：ナノスケール伝熱 カarbonナノチューブ 高熱伝導材料 分子内包効果 熱電変換材料 ナノ/マイクロ加工 原子間力顕微鏡

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

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(Carbon nanotube, CNT)はカイラリティに依存して金属や半導体に変化するユニークな電気的性質や優れた熱伝導性、機械特性を有しており、学術的な興味ばかりでなく様々な用途での産業応用が検討されている。CNTの重要な特徴は内部にナノスケールの空洞を有していることであり、化学技術の進展によりこれまでにナノカーボン材料やナノワイヤ、ナノ粒子など様々な材料の内包技術が確立している [Nature, 396, 323 (1998), ACS Nano, 10, 8674 (2012), Nat. Comm., 4, 2162 (2013)]。そして2002年にフラーレンの内包によってCNTの電気物性が変調されることが報告されて以降 [Nature, 415, 1005 (2002), Science, 295, 828 (2002)], 内包分子によるCNTの物性制御は、CNTを利用した応用材料の性能向上や新たなアプリケーションの創製に繋がることから大きな注目を集めている。しかし電気物性の変化や磁性の付与などCNTの物性を変化させることに成功した研究が数多く報告されている一方で、内包分子がCNTの熱伝導性に及ぼす影響に関しては、CNTのような単一ナノ材料の熱伝導率の評価が技術的に困難であるという理由から、これまで解明されていなかった。申請者は、単一ナノ構造体や極薄膜の熱伝導率計測に不可欠な“サスペンド構造”(計測系全体を宙に浮かせて試料を橋渡しさせたデバイス構造)の製作過程が研究の技術的障壁になっていることに着目し、あらかじめ犠牲材料を周期的に縦に埋め込んだ基板(periodic nanogrid substrate, PN基板)を開始材料として用いる新しいデバイス製作技術を開発した。このPN基板上へ試料を配置してリソグラフィ工程に組み込むことにより、これまで困難であった試料1本をサスペンション構造へ導入する作業工程を省くことができるため、様々なナノ構造体の電気伝導率、熱伝導率、ゼーベック定数を同時に計測することが可能な“オールインワン熱電評価デバイス”を量産することが可能となった。そしてこの技術を利用して、単層CNTがフラーレンの内包によって常温で約50%の熱伝導率の低下と約40%の熱起電力の増加を同時に示すことをこれまでに明らかにしている [Nature Materials, 16, 892 (2017), 以下、事前研究]。この結果は内包材料を変えることで更なる熱物性の変調を促せる可能性を示唆しており、熱拡散材料や熱電変換素子などのCNT熱デバイスの性能を大幅に向上させられる潜在性を秘めていると考えられる。しかしその他の材料による内包効果はまだ解明されていない。また、CNTを工学デバイスに应用するためには薄膜などバルク構造化する必要があり、単一チューブの物性変化がバルク体にどのように波及するのかに関しては不明な点が多いため、そのメカニズムを詳細に調べ上げる必要がある。

2. 研究の目的

このような背景から本研究では、独自の微細加工技術によって製作されたマイクロ加工デバイスを利用して、内包CNTの熱伝導性を単一チューブレベルで評価し、分子内包効果の知見を深めることでCNTの熱伝導性を制御するための基礎学理の構築を目指す。また、CNTは単一チューブレベルで2000W/m/K以上の優れた熱伝導率を示すことが知られている一方で、バルク構造体の場合にはその熱伝導率が著しく小さくなってしまふことが知られている。この原因として、配向性や材料密度、CNT平均長さやCNT間の接触熱抵抗などの高次構造因子に由来すると考えられてきたが、近年、CNTの束であるバンドル1本のレベルで既に熱伝導率が大きく低下している可能性が示唆されている。そこでチューブ1本やバンドル、薄膜、線材といった幅広い形態のCNTの熱伝導性を階層的に評価していくことでバルク体の熱伝導性を包括的に解明し、CNT熱デバイスの新たな材料設計指針を得ることが本研究の目的とする。

3. 研究の方法

- ナノスケール熱伝導測定について

単一チューブや単一バンドルといったナノスケールの熱伝導測定に関しては、事前研究と同様にマイクロ加工デバイス定常法を用いて行った。マクロ加工デバイス定常法は、発熱源と测温抵抗体を有した2つの自立膜(加熱膜と検出膜)の間に実験試料を橋渡しさせた後、加熱膜上のコイルに電流を流して自己発熱させる。発生した熱の一部が試料を通じて検出膜の温度を上昇させ、その検出膜上の温度上昇を微弱プローブ電流で計測することができる。2つの膜を支える支持脚構造の熱抵抗が同一と仮定することができる場合において、二つの自立膜の温度変化の加熱電流振幅依存性から試料の熱抵抗を解析的に求めることができる手法である。試料の熱伝導率を概算するためには、試料長さや直径といった幾何情報が必要であり、試料長さは走査型電子顕微鏡像(Scanning electron microscope, SEM)から、試料直径は原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope, AFM)で検出した平均値を求めた。実験効率を高めるため、1cm四方のチップ内に計16個の測定デバイスを加工し、測定は対流損失の影響を除去するために $<10^{-3}$ Paの高真空下において行った。また、本助成で導入した無冷媒式のクライオスタットを利用して低温実験まで行い、熱伝導性についての知見を深めた。

マイクロ加工デバイスへの実験試料の導入と構造評価の方法に関しては、PN基板を用いた加工方法を採用した場合にはデバイス製作前にターゲットとなる試料の直径をAFM測定によって事前に評価した。また、本研究の遂行の過程で、自立膜構造上に橋渡しされた試料上でもAFMを用いた構造評価が可能であることが明らかとなったため、液滴に分散させた試料をデバイス

上に滴下、蒸発させることで試料をデバイス上へ橋渡しさせ、熱伝導測定終了後に構造評価を行った。

- マクロスケール熱伝導測定について

線材の長軸方向や薄膜の面内方向といったマイクロスケールの試料サイズの材料の熱伝導測定に関しては、定常法や交流加熱法、エレクトロサーマル法などがこれまでに適用されてきているが、熱伝導率の高い試料の場合には接触熱抵抗の影響が大きくなること、自己発熱を利用した測定方法の場合、純金属以外の材料への適用は測定精度に欠けるなど、課題があり、適切な測定手法の開発が囑望されていた。そこで本研究では、ナノスケールの四端子熱計測法[Rev. Sci. Instrum. 86, 044901 (2015)]をマクロスケールに拡張したバルクスケール四端子熱計測法を新たに開発し、CNT バルク構造体の熱伝導測定を行った。測定方法の詳細については研究成果の項目で後述する。

- 実験試料について

内包 CNT については、共同研究者である篠原研究室より提供を受けたダイヤモンド内包、およびダイヤモンド内包二層 CNT(Double walled carbon nanotube, DWCNT)についてナノスケール熱伝導測定を行った。また、CNT バルク構造体の製作には多量の実験試料が必要なこと、ナノレベルからマクロスケールまでの階層的な熱伝導評価による伝搬メカニズムの解明には同一原材料を利用した実験が不可欠であることから、NTP 社製 NTP9112(DWCNT)や OCSiAl 社製 TUBALL(単層 CNT, single walled carbon nanotube, SWCNT)を実験試料として選定し、湿式紡糸法や真空ろ過法によって線材、および薄膜の製作を行った。

4. 研究成果

本研究では実験手法の開発と並行して、CNT 構造体のナノレベルからマクロスケールまで同一原材料における階層評価、ナノレベルにおける CNT の分子内包効果の検証実験を行った。以下に研究成果について順に報告する。

- バルク四端子熱計測法の開発

CNT バルク構造体の熱伝導率を評価するために、本研究で新たにバルク四端子熱計測法を開発した。この手法は既報のナノスケール四端子熱計測法を応用したものであり、微細加工によってデバイス製作をする代わりに 4 本のバルク白金線とその間に試料を橋渡しさせた構造を真空マニピュレーターによって製作することで、試料熱抵抗と支持脚構造の熱抵抗を調整した。また、ナノスケールの場合には小さかった輻射伝熱による損失がマクロスケールの場合には無視することが困難なため、輻射伝熱の項を取り入れて解析解を導出した。四端子熱計測の特徴は、4 本の白金線をそれぞれ発熱源、および測温抵抗体として利用することで $4 \times 4 = 16$ 本の白金線の温度変化の情報を取得し、それらの結果から解析的に試料中央部の熱抵抗と両端の接触熱抵抗をそれぞれ別々に測定できることである。実験の結果、これらはマクロスケールの材料に対しても成立することを熱伝導率既知の金属細線を実験試料にした試験により確認した。ゆえに本実験手順で CNT バルク構造体の熱伝導評価を行った。

- CNT バルク構造体の階層的熱伝導評価

本研究では、市販の材料であり、前述した OCSiAl 社製 TUBALL、NTP 社製 NTP9112 を原材料として、ナノレベルにおける原材料のバンドル熱測定、およびマクロスケールにおける線材・薄膜熱測定を行い、実験結果を検証した。ナノレベルにおける熱伝導測定の結果、2つの原材料の間に熱伝導率に関して大きな違いは存在せず、常温で最大約 2000 W/m/K の熱伝導率を示す直径約 1.5 nm の試料が存在した一方で、バンドル径が大きくなるに従って熱伝導率は急速に低下し、直径 50 nm 付近でバルク構造体と同程度の値である約 60 W/m/K に収束することが本研究から新たに明らかになった。この結果は、CNT バルク構造体の熱伝導率が構成原材料である CNT のバンドル化によって支配されていることを示唆している。また、ライス大学と共同で CNT 水平配向膜の面内熱伝導測定についても行ったところ、配向方向に関して常温で約 43 W/m/K という結果が得られた。これは本研究で製作した CNT バルク構造体と同程度の値であり、配向性の高さよりも原材料の性質やバンドル化による熱伝導率抑制効果が支配していることが要因として挙げられる。

- ダイヤモンド内包 CNT の熱伝導測定

分子内包効果の検証として、新たにダイヤモンドワイヤ内包 DWCNT の熱伝導率測定を行った。ホスト分子である DWCNT バンドルは、常温で平均約 140 W/m/K であり、上述したバンドル効果により DWCNT の熱伝導率が抑制されていると考察される。一方でダイヤモンドワイヤを内包した DWCNT に関しては、バンドルレベルで熱伝導率の向上が確認された他、ダイヤモンドなど sp³ 系の炭素分子を内包させた場合には特徴的な熱伝導性の変調が確認された。本研究成果に関しては、今後、学会や論文に発表する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Xu Bin, Liao Yuxuan, Fang Zhenglong, Nagato Keisuke, Kodama Takashi, Nishikawa Yasushi, Shiomi Junichiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Ultra-high-performance heat spreader based on a graphite architecture with three-dimensional thermal routing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell Reports Physical Science	6. 最初と最後の頁 100621 ~ 100621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.xcrp.2021.100621	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 IRA Yusuke, KODAMA Takashi, SHIOMI Junichiro	4. 巻 87
2. 論文標題 Reduction of interface thermal resistance between TIM and metal surface by tuning wettability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00023	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 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 Chaikasetsin Settasit, Kodama Takashi, Bae Kiho, Jung Jun Young, Shin Jeeyoung, Lee Byung Chul, Kim Brian S. Y., Seo Jungju, Sim Uk, Prinz Fritz B., Goodson Kenneth E., Park Woosung	4. 巻 118
2. 論文標題 Thermal expansion characterization of thin films using harmonic Joule heating combined with atomic force microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 194101 ~ 194101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0049160	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 Kodama Takashi, Shinohara Nobuhiro, Hung Shih-Wei, Xu Bin, Obori Masanao, Suh Donguk, Shiomi Junichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Modulation of Interfacial Thermal Transport between Fumed Silica Nanoparticles by Surface Chemical Functionalization for Advanced Thermal Insulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 17404 ~ 17411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c11066	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 Xu Bin, Hu Shiqian, Hung Shih-Wei, Shao Cheng, Chandra Harsh, Chen Fu-Rong, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Weaker bonding can give larger thermal conductance at highly mismatched interfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abf8197	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 該当する

1. 著者名 Yamaguchi Shingi, Shiga Takuma, Ishioka Shun, Saito Tsuguyuki, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro	4. 巻 92
2. 論文標題 Anisotropic thermal conductivity measurement of organic thin film with bidirectional method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 034902 ~ 034902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0030982	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 Adachi Kento, Daicho Kazuho, Furuta Makito, Shiga Takuma, Saito Tsuguyuki, Kodama Takashi	4. 巻 118
2. 論文標題 Thermal conduction through individual cellulose nanofibers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 053701 ~ 053701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0042463	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 Xu Bin, Hung Shih-Wei, Hu Shiqian, Shao Cheng, Guo Rulei, Choi Junho, Kodama Takashi, Chen Fu-Rong, Shiomi Junichiro	4. 巻 175
2. 論文標題 Scalable monolayer-functionalized nanointerface for thermal conductivity enhancement in copper/diamond composite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 299 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.01.018	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 Sakuma Wataru, Yamasaki Shunsuke, Fujisawa Shuji, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro, Kanamori Kazuyoshi, Saito Tsuguyuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Mechanically Strong, Scalable, Mesoporous Xerogels of Nanocellulose Featuring Light Permeability, Thermal Insulation, and Flame Self-Extinction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 1436 ~ 1444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c08769	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 Liu Yida, Kodama Takashi, Kojima Taisuke, Taniguchi Ikuo, Seto Hirokazu, Miura Yoshiko, Hoshino Yu	4. 巻 52
2. 論文標題 Fine-tuning of the surface porosity of micropatterned polyethersulfone membranes prepared by phase separation micromolding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 397 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-019-0298-9	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 Ota Aun, Ohnishi Masato, Oshima Hisayoshi, Shiga Takuma, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Enhancing Thermal Boundary Conductance of Graphite/Metal Interface by Triazine-Based Molecular Bonding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 37295 ~ 37301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b11951	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 Yamaguchi Shingi, Tsunekawa Issei, Komatsu Natsumi, Gao Weilu, Shiga Takuma, Kodama Takashi, Kono Junichiro, Shiomi Junichiro	4. 巻 115
2. 論文標題 One-directional thermal transport in densely aligned single-wall carbon nanotube films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 223104 ~ 223104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5127209	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 Lee Yaerim, Matsushima Naoto, Yada Susumu, Nita Satoshi, Kodama Takashi, Amberg Gustav, Shiomi Junichiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Revealing How Topography of Surface Microstructures Alters Capillary Spreading	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44243-x	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 該当する

1. 著者名 Kashiwagi Makoto, Liao Yuxuan, Ju Shenghong, Miura Asuka, Konishi Shota, Shiga Takuma, Kodama Takashi, Shiomi Junichiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Scalable Multi-nanostructured Silicon for Room-Temperature Thermoelectrics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 7083 ~ 7091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00893	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 Park Woosung, Sohn Joon, Romano Giuseppe, Kodama Takashi, Sood Aditya, Katz Joseph S., Kim Brian S. Y., So Hongyun, Ahn Ethan C., Asheghi Mehdi, Kolpak Alexie M., Goodson Kenneth E.	4. 巻 10
2. 論文標題 Impact of thermally dead volume on phonon conduction along silicon nanoladders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 11117 ~ 11122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nr01788c	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 Obori Masanao, Suh Donguk, Yamasaki Shunsuke, Kodama Takashi, Saito Tsuguyuki, Isogai Akira, Shiomi Junichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Parametric Model to Analyze the Components of the Thermal Conductivity of a Cellulose-Nanofibril Aerogel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 024044-1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.024044	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 Park Woosung, Sohn Joon, Romano Giuseppe, Kodama Takashi, Sood Aditya, Katz Joseph S., Kim Brian S. Y., So Hongyun, Ahn Ethan C., Asheghi Mehdi, Kolpak Alexie M., Goodson Kenneth E.	4. 巻 10
2. 論文標題 Impact of thermally dead volume on phonon conduction along silicon nanoladders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 11117 ~ 11122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nr01788c	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

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 佐藤彰斗, 足立健人, 児玉高志
2. 発表標題 カーボンナノチューブ線材の階層的電気・熱伝導測定
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 佐藤彰斗, 足立健人, 児玉高志
2. 発表標題 四端子熱計測を用いたバルクカーボンナノチューブ材料の熱伝導計測
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立 建人, 大長 一帆, 齋藤 継之, 児玉高志
2. 発表標題 広温度範囲に亘る単一セルロースナノファイバーの超高精度熱伝導計測
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古田時人, 足立建人, 大長一帆, 齋藤継之, 児玉高志, 志賀拓磨
2. 発表標題 分子動力学法を用いたセルロースナノフィブリルの熱伝導の次元依存性解析
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 信義, 志賀 拓磨, 児玉高志, 塩見 淳一郎
2. 発表標題 金属有機構造体配向膜の熱伝導率とその湿度依存性測定
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 足立 建人, 大長 一帆, 齋藤 継之, 児玉高志
2. 発表標題 マイクロデバイスを用いた単一セルロースナノファイバーの超高感度熱伝導計測
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 彰斗, 足立 建人, 児玉高志,
2. 発表標題 四端子熱計測を用いたバルク繊維材料の熱伝導計測
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ira, T. Kodama, J. Shiomi
2. 発表標題 The effect of hydrophobicity on interface thermal resistance between metal and TIM
3. 学会等名 The 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference (PRTEC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤彰斗, 足立建人, 児玉高志
2. 発表標題 カーボンナノチューブ繊維のマクロスケール四端子熱伝導測定
3. 学会等名 第58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 足立 建人, 大長 一帆, 齋藤 継之, 児玉高志
2. 発表標題 単一セルロースナノファイバーの熱伝導計測
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 信義, 志賀 拓磨, 児玉高志, 塩見 淳一郎
2. 発表標題 2方向3 法を用いた金属有機構造体配向膜の熱伝導率測定
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口信義, 小宅教文, 児玉高志, 小松夏実, Weilu Gao, 河野淳一郎, 塩見淳一郎
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブ水平配向膜の熱伝導異方性評価
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 児玉高志
2. 発表標題 ナノスケール/マクロスケール熱輸送評価技術に基づいた新規熱機能性材料の開発
3. 学会等名 日本伝熱学会関西支部第25期第3回講演討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 児玉高志
2. 発表標題 カーボンナノチューブの熱伝導制御とバルク材料への応用
3. 学会等名 第8回FNTG若手の会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 児玉高志
2. 発表標題 マイクロ/ナノ加工技術と単一ナノ構造体の熱伝導率計測
3. 学会等名 第2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 Y. Lee, N. Matsushima, S. Yada, S. Nita, T. Kodama, G. Amberg, J. Shiomi
2. 発表標題 Dynamic wetting of drop spreading over asymmetric sawtooth surface structures
3. 学会等名 71st Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口信義, 小宅教文, 児玉高志, 小松夏実, Weilu Gao, 河野淳一郎, 塩見淳一郎
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブ水平配向膜の熱伝導異方性評価
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 伊良勇亮, 岩本壮太郎, 大田アウン, 児玉高志, 塩見淳一郎,
2. 発表標題 時間領域サーモリフレクタンス法を用いた熱抵抗評価とその制御
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 児玉高志, 大西正人, Woosung Park, 志賀拓磨, Joonsuk Park, 嶋田行志, 篠原久典, 塩見淳一郎, Kenneth E. Goodson
2. 発表標題 フラーレン分子の内包によるカーボンナノチューブの熱伝導性変調効果
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 柏木誠, 小西翔太, 志賀拓磨, 児玉高志, 塩見淳一郎
2. 発表標題 自己組織化手法による低熱伝導率バルクスケールナノ構造シリコンの実現
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 山口信義, 児玉高志, 塩見淳一郎
2. 発表標題 共有結合性有機構造体をベースとした熱電材料の熱性能評価
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小宅教文/児玉高志/塩見淳一郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 5
3. 書名 "ナノスケール熱測定", サーマルデバイス ~新素材・新技術による熱の高度制御と高効率利用~ 第2章 第3節	

〔産業財産権〕

〔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
研究 分担 者	志賀 拓磨 (Shiga Takuma) (10730088)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・講師 (12601)	

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