

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H05329・20K20348

研究課題名（和文）単層カーボンナノチューブの原子スケール精密成長機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of atomic-scale precise growth mechanism of single-walled carbon nanotubes

研究代表者

丸山 茂夫（Maruyama, Shigeo）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：90209700

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：同位体ラベリング手法を用いた単一単層CNTの成長時間変化の観察手法を確立し、触媒還元、水蒸気処理、アセチレン添加などの単層CNTの成長開始時間遅延と成長速度への影響を単一単層CNTレベルで明らかとした。さらにシリコン基板の微細加工により作製したTEMグリッドを用いた透過型電子顕微鏡（TEM）による触媒金属と単層CNTの観察および分子動力学（MD）法による単層CNT成長のシミュレーションを組み合わせて、単層CNTのジグザグ端の構造安定性に基づくカイラリティ決定機構を議論することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単層カーボンナノチューブ（単層CNT）の構造は直径・巻き方（カイラリティ）・長さなどにより規定される。単層CNTの性質は1本ごとの構造の違いに大きく影響を受けるといった特徴を持つことから、次世代の電界効果トランジスタなどの様々な応用の実現に向けては各用途に適した構造の単層CNTを選択的に合成することが求められている。単一単層CNTの成長分析によって、単層CNTの原子スケールでの成長機構解明および構造制御合成の実現に向け大きな学術的な進展が見られた。この結果、単層CNTをチャネルとする次世代の電界効果トランジスタの実現に近づいたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We developed a method for time-resolved growth observation of individual single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) by isotope labeling, and investigated the effects of catalyst reduction, water vapor treatment, acetylene addition, and others on a delay of growth starting time and a change in growth rates at the single SWCNT level. We also discussed the mechanism which determines the chirality based on structural stability of zigzag edges of SWCNTs by combining observation of catalyst nanoparticles and SWCNTs by transmission electron microscopy (TEM) using TEM grids constructed from silicon substrates by microfabrication and also growth simulation of SWCNTs by molecular dynamics (MD) simulation.

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 CNT 化学気相成長法 CVD 同位体ラベリング 透過型電子顕微鏡 分子動力学法 ナノテクノロジー

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

単層カーボンナノチューブ(CNT)の実用化に向けてはその合成技術の高度化が必要となるが、合成物中に様々な構造の単層CNTが混在してしまうことや、成長停止により単層CNTの長さ・密度に限界があることなどの課題が存在する。本研究では、独自の同位体ラベル手法による単層CNTレベルでの成長過程分析、架橋薄膜グリッドを用いた透過型電子顕微鏡による触媒と単層CNTの直接観察、そして分子動力学法による原子スケールシミュレーションを相補的に用いることで、単層CNT成長メカニズムを解き明かし、高精度の構造制御合成の実現につなげる。

### 2. 研究の目的

単層カーボンナノチューブ(単層CNT)の発見以降、様々な応用が提案されてきているが、いまだその成長メカニズムは不明な点が多く、合成段階における構造制御が難しいのが現状である。そこで、本研究課題では、走査ラマンイメージング分光法と透過型電子顕微鏡1本毎の単層CNTに対する詳細な分析を効率よく行うことで多数の単層CNTに対し実施する。ここで得られた膨大なデータを解析することで、単層CNT成長メカニズムの解明を目指すと同時に、新たな単層CNT構造制御合成法の開発を進める。また、同時に分子動力学シミュレーション計算法も用いることで、総合的な分析を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は(1)同位体ラベルによる孤立単層CNTの成長過程分析(2)透過型電子顕微鏡(TEM)による単層CNTおよび金属触媒微粒子の原子スケール観察、(3)分子動力学法(MD)による単層CNT成長シミュレーション、の3つのアプローチから構成される。それぞれについて、以下の研究を実施する。

(1)同位体ラベルによる孤立単層CNTの成長過程分析において、成長前の触媒処理の効果に着目した実験を行う。通常の還元処理に加えて、弱い酸化処理を行い、単層CNTの成長速度、成長待機時間、成長寿命などに関する影響を比較する。複数の条件下で多数の孤立単層CNTの成長特性データを収集し、機械学習による分析を用いることで、合成条件と成長特性の関係を解明する。また、成長中の添加ガスの効果や、温度依存性についても調べる。

(2)TEMグリッドを微細加工により作製し、触媒を観察するための架橋薄膜部分と、単層CNTを観察するための中空部分が隣接した構造を実現する。これにより、対応した触媒粒子と単層CNTをそれぞれ高分解能で分析することを可能とする。

(3)MDシミュレーションにおいて、単層CNT成長の成長核となる触媒微粒子に着目して研究を行う。複数の金属ポテンシャルをこれまで作製してきたことから、それらの合金触媒を単層CNT成長に用いる。実験的には合金による成長促進効果や直径変化が知られているが、MDシミュレーションによりこれらの微視的な機構に関する知見を得る。

### 4. 研究成果

単層カーボンナノチューブ(単層CNT)の構造は直径・巻き方(カイラリティ)・長さなどにより規定される。単層CNTの性質は1本ごとの構造の違いに大きく影響を受けるという特徴を持つことから、様々な応用の実現に向けては各用途に適した構造の単層CNTを選択的に合成することが求められている。本研究では、単層CNTの原子スケールでの成長機構解明および構造制御合成の実現に向けて、複数の手法を用いて単層CNTの成長分析を行った。

同位体ラベリング手法を用いた単層CNTの成長時間変化の観察においては、通常の $^{12}\text{C}$ 炭素原子から成るエタノールに加えて、 $^{13}\text{C}$ 炭素原子から成るエタノールを一定時間ごとに割合を変えて供給し、ラマンマップ測定によりラベル位置を特定し、成長曲線を得た(図1)。

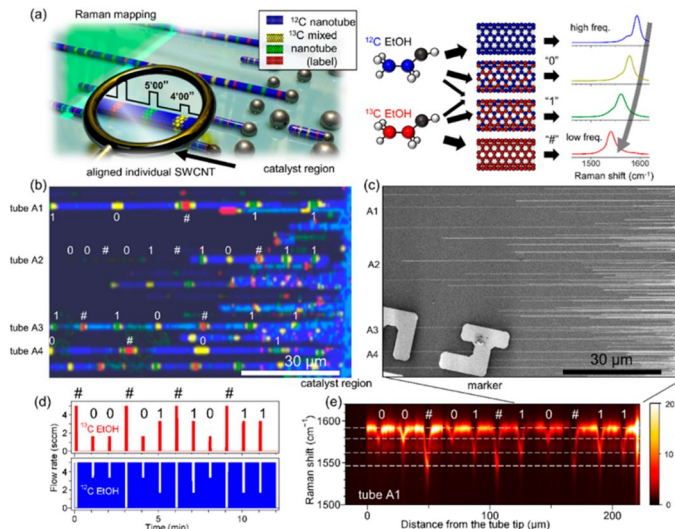


図1 同位体ラベル合成とラマンマップ測定による単層CNTの成長過程観察。

単層 CNT はエタノール供給後、数分した後にその成長が開始すること（成長待機時間）、成長は 10～20 分程度の時間に限られること（触媒活性寿命時間）が明らかになった。また、単層 CNT の成長速度は成長中ほぼ一定であり合成温度に強く依存すること、さらに合成中に一時的にエタノール供給を止めると成長は停止し、供給再開によって再び成長する単層 CNT が存在することを新たに発見した。エタノール停止中における条件を変化させることで成長再開をする場合としない場合があること、さらには水蒸気を供給した場合は単層 CNT が水分子によってエッチングされることも分かった（図 2）。これらの結果は、これまで経験に基づいて行われることが多かった単層 CNT 合成技術開発研究において、CVD 成長メカニズムの詳細な情報を与える重要な知見と言える。

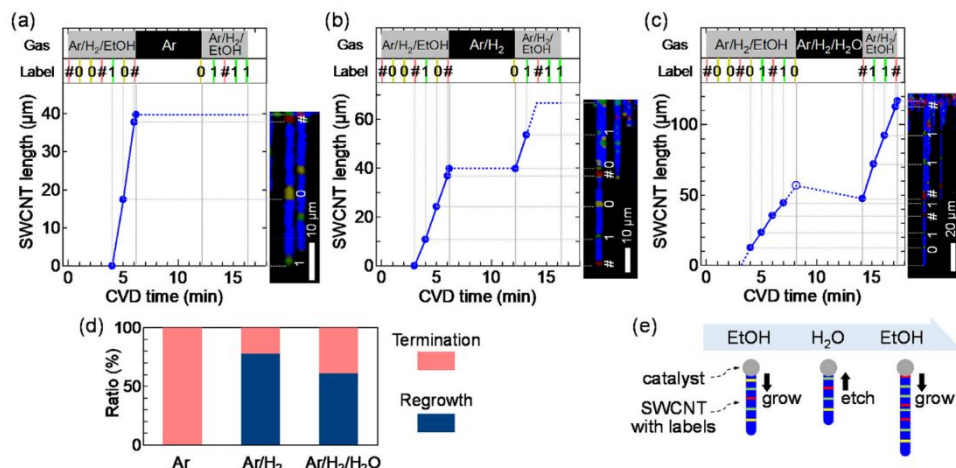


図 2 合成中に炭素源供給を一時停止した場合の単一単層 CNT の成長過程。

金属触媒微粒子の処理条件に対する単層 CNT 成長特性の変化に着目し、機械学習によりその関係を分析した。触媒金属微粒子に対して 3 種の異なる前処理条件の後に単層 CNT を合成し、多数の単一単層 CNT の成長曲線を得た。機械学習の一種であるランダムフォレスト法により、触媒処理条件と成長パラメータとの関係を分析した。長時間の触媒還元および水蒸気処理が単層 CNT の成長開始時間の遅延および直径の増大に大きな影響を与えることが示された（図 3）。

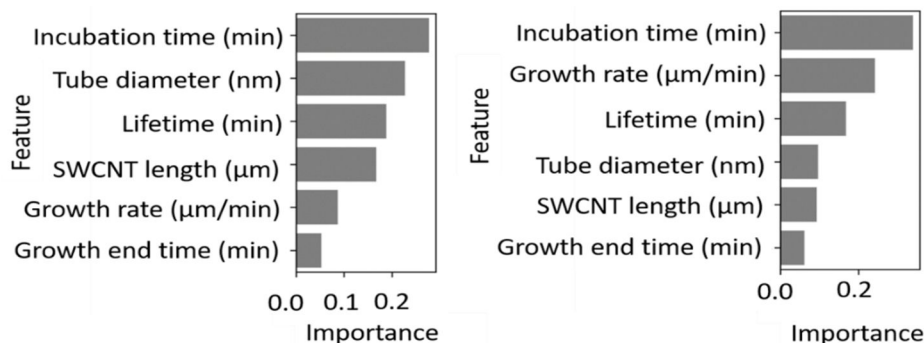


図 3 触媒の長時間還元および水蒸気処理が単一単層 CNT 成長に与える影響。

透過型電子顕微鏡（TEM）による単層 CNT と触媒の直接観察においては、シリコン基板の微細加工により作製した TEM グリッドを用いた観察を行った。高温処理の前後における同一単層 CNT の構造を TEM により観察することに成功した。単層 CNT の構造制御に向けては成長温度を下げることで、小直径の単層 CNT を選択的に合成することが求められていた。本研究では、スパッタリング成膜によるコバルト触媒を用い、600°C という比較的低温において小直径の垂直配向単層 CNT の合成に成功した。この際の単層 CNT および Co 触媒微粒子を TEM により直接観察した。低温においては触媒のオストワルドライピングによる直径増大が抑制され、直径分布の精米触媒微粒子が得られたことが示された。さらに、高温環境でのその場 TEM 観察を実施し、Co 触媒微粒子の状態を詳細に観察することで、温度 800°C においても触媒が固相を維持していることを確認した（図 4）。

合金触媒を用いた単層 CNT によるカイラリティ制御合成が報告されているが、その成長機構については不明点が多い。そこで、架橋 SiO<sub>2</sub> 膜から成る支持基板を用いて、コバルト・タングステン合金触媒における単層 CNT 成長を実施し、TEM 観察を行った。触媒は初期には Co<sub>6</sub>W<sub>6</sub>C の状態であることが観察された。炭素源ガスであるエタノール導入時の触媒構造の変化を観察したところ、Co<sub>6</sub>W<sub>6</sub>C である触媒から Co が析出して単層 CNT が成長することが示された（図 5）。このよ



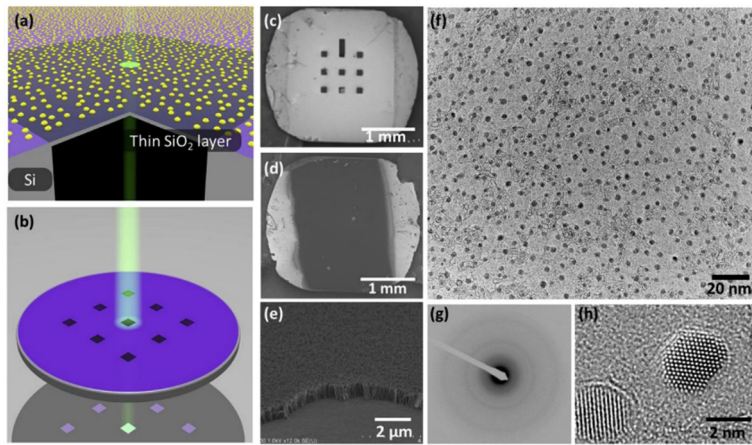


図 4 架橋 SiO<sub>2</sub> 膜上での単層 CNT および Co 触媒微粒子の直接 TEM 観察 .

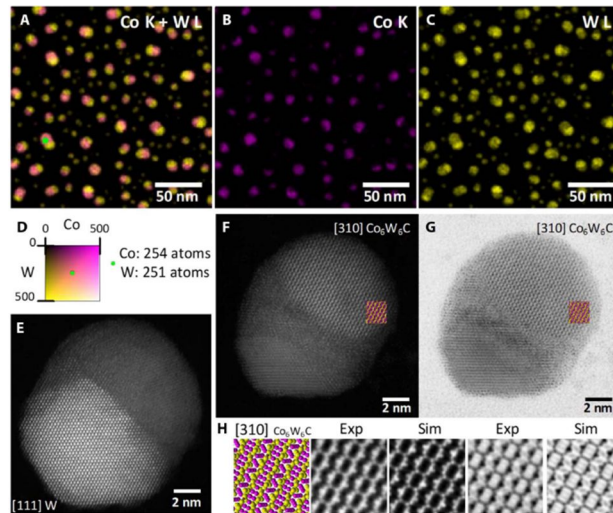


図 5 W-Co 合金触媒の TEM 像および元素マッピング像 .

うな合金触媒の原子レベルでの観察は従来の分析では不可能であった．単層 CNT の構造制御合成における微視的機構の分析への本手法の有用性が示された．

さらに，分子動力学 (MD) 法による単層 CNT 成長のシミュレーションにおいては，経験的ポテンシャルを作成するとともに，炭素供給頻度を低下した様々な条件における長時間の計算を実施し，欠陥構造の含まれない単層 CNT 成長を MD において初めて実現した．単層 CNT 成長時には単層 CNT の端部がジグザグ端を保ちながら，炭素原子が連なっていく様子が観察された．無欠陥の単層 CNT においてはカイラリティの決定が可能であり，今回の研究では，(14,1)，(15,2)，(9,0)などのカイラリティが得られた．これらのカイラリティは全てニアジグザグ型に属する．金属触媒の種類の違いによる成長機構の差異を調べるため，Fe および Co 触媒におけるポテンシャル分析を実施し，単層 CNT のジグザグ端の構造安定性が金属種により異なることが示された．これはカイラリティ決定機構の理解につながる知見である．また，炭素供給頻度の制御を行い，触媒中に溶解した炭素原子数が単層 CNT 成長中の欠陥生成率に対して影響を与えることが分かった (図 6)．

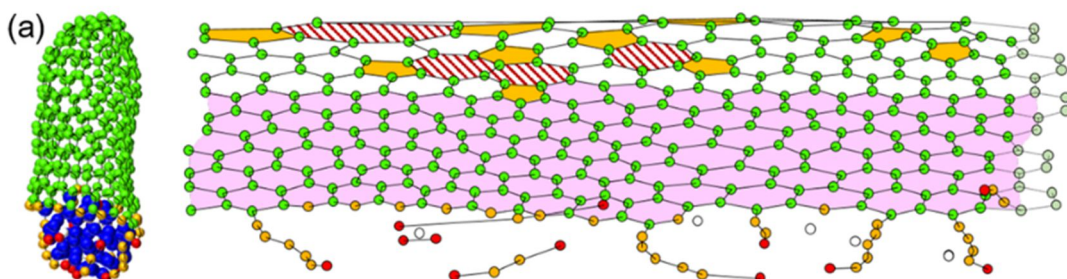


図 6 分子動力学法により得られた無欠陥側壁を有する単層 CNT とその展開図 .

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 6件）

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 -
1. 著者名 Jeon II, Shawky Ahmed, Seo Seungju, Qian Yang, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 8
2. 論文標題 Carbon nanotubes to outperform metal electrodes in perovskite solar cells via dopant engineering and hole-selectivity enhancement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 11141 ~ 11147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ta03692g	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 Lin Hao-Sheng, Okawa Shunhei, Ma Yue, Yotsumoto Satoshi, Lee Changsoo, Tan Shaun, Manzhos Sergei, Yoshizawa Michito, Chiashi Shohei, Lee Hyuck Mo, Tanaka Takeshi, Kataura Hiromichi, Jeon II, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 32
2. 論文標題 Polyaromatic Nanotweezers on Semiconducting Carbon Nanotubes for the Growth and Interfacing of Lead Halide Perovskite Crystal Grains in Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 5125 ~ 5133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c01011	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 Qian Yang, Seo Seungju, Jeon II, Lin Haosheng, Okawa Shuhei, Zheng Yongjia, Shawky Ahmed, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Kong Jing, Xiang Rong, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 13
2. 論文標題 MoS <sub>2</sub> -carbon nanotube heterostructure as efficient hole transporters and conductors in perovskite solar cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075009 ~ 075009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab9efa	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 Okazaki Daiki, Morichika Ikki, Arai Hayato, Kauppinen Esko, Zhang Qiang, Anisimov Anton, Varjos Ilkka, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo, Ashihara Satoshi	4. 巻 28
2. 論文標題 Ultrafast saturable absorption of large-diameter single-walled carbon nanotubes for passive mode locking in the mid-infrared	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 1997 ~ 1997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.395962	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 Lee Changhyun, Lee Sang-Won, Bae Soohyun, Shawky Ahmed, Devaraj Vasanthan, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Oh Jin-Woo, Kang Yoonmook, Kim Donghwan, Jeon II, Maruyama Shigeo, Lee Hae-Seok	4. 巻 4
2. 論文標題 Carbon Nanotube Electrode Based Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2000353 ~ 2000353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202000353	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 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 該当する

1. 著者名 Koh Heeyuen, Chiashi Shohei, Shiomi Junichiro, Maruyama Shigeo	4. 巻 11
2. 論文標題 Heat diffusion-related damping process in a highly precise coarse-grained model for nonlinear motion of SWCNT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-79200-6	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 Jang Woongsik, Kim Byung Gi, Seo Seungju, Shawky Ahmed, Kim Min Soo, Kim Kyusun, Mikladal Bjorn, Kauppinen Esko I., Maruyama Shigeo, Jeon Il, Wang Dong Hwan	4. 巻 37
2. 論文標題 Strong dark current suppression in flexible organic photodetectors by carbon nanotube transparent electrodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Today	6. 最初と最後の頁 101081 ~ 101081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nantod.2021.101081	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 Xiang Rong, Maruyama Shigeo	4. 巻 1
2. 論文標題 Heteronanotubes: Challenges and Opportunities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Small Science	6. 最初と最後の頁 2000039 ~ 2000039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smssc.202000039	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 Yoon Jungjin, Kim Unsoo, Yoo Yongseok, Byeon Junseop, Lee Seoung Ki, Nam Jeong Seok, Kim Kyusun, Zhang Qiang, Kauppinen Esko I., Maruyama Shigeo, Lee Phillip, Jeon Il	4. 巻 8
2. 論文標題 Foldable Perovskite Solar Cells Using Carbon Nanotube Embedded Ultrathin Polyimide Conductor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2004092 ~ 2004092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202004092	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 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 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 R. Xiang, T. Inoue, Y. Zheng, A. Kumamoto, Y. Qian, Y. Sato, M. Liu, D. Tang, D. Gokhale, J. Guo, K. Hisama, S. Yotsumoto, T. Ogamoto, H. Arai, Y. Kobayashi, H. Zhang, B. Hou, A. Anissimov, M. Maruyama, Y. Miyata, S. Okada, S. Chiashi, Y. Li, J. Kong, E. I. Kauppinen, Y. Ikuhara, K. Suenaga, S. Maruyama	4. 巻 367
2. 論文標題 One-dimensional van der Waals heterostructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 537-542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aaz2570	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 K. Hisama, S. Chiashi, S. Maruyama, S. Okada	4. 巻 13
2. 論文標題 Energetics and electronic structures of single walled carbon nanotubes encapsulated in boron nitride nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 15004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab5c02	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 Y. Qian, I. Jeon, Y.-L. Ho, C. Lee, S. Jeong, C. Delacou, S. Seo, A. Anisimov, E. I. Kauppinen, Y. Matsuo, Y. Kang, H.-S. Lee, D. Kim, J.-J. Delaunay, S. Maruyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Multifunctional Effect of p-Doping, Antireflection, and Encapsulation by Polymeric Acid for High Efficiency and Stable Carbon Nanotube-Based Silicon Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1902389-1902389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201902389	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 T. Thurakitserree, C. Kramberger, N. Chanlek, R. Supruangnet, A. Wisitsorraat, H. Nakajima, S. Maruyama	4. 巻 101
2. 論文標題 The Influence of $\gamma$ -Irradiation on Nitrogen Configuration in Nitrogen-Doped Single-Walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 107569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2019.107569	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 I. Jeon, A. Shawky, H.-S. Lin, S. Seo, H. Okada, J.-W. Lee, A. Pal, S. Tan, A. Anisimov, E. Kauppinen, Y. Yang, S. Manzhos, S. Maruyama, Y. Matsuo	4. 巻 141
2. 論文標題 Controlled Redox of Lithium-Ion Endohedral Fullerene for Efficient and Stable Metal Electrode-Free Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 16553-16558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b06418	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 B. Koyano, T. Inoue, S. Yamamoto, K. Otsuka, R. Xiang, S. Chiashi, S. Maruyama	4. 巻 155
2. 論文標題 Regrowth and catalytic etching of individual single-walled carbon nanotubes studied by isotope labeling and growth interruption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 635-642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.09.031	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 I. Jeon, J. Yoon, U Kim, C. Lee, R. Xiang, A. Shawky, J. Xi, J. Byeon, H. Mo Lee, M. Choi, S. Maruyama, Y. Matsuo	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Performance Solution-Processed Double-Walled Carbon Nanotube Transparent Electrode for Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1901204-1901204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201901204	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 T. Yatsui, S. Okada, T. Sato, T. Ogamoto, S. Chiashi, S. Maruyama, M. Noda, K. Iida, K. Nobusada	4. 巻 2
2. 論文標題 Enhanced photo-sensitivity in a Si photodetector using a near-field assisted excitation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 62-1-62-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0173-1	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 H. An, A. Kumamoto, R. Xiang, T. Inoue, K. Otsuka, S. Chiashi, C. Bichara, A. Loiseau, Y. Li, Y. Ikuhara, S. Maruyama	4. 巻 5
2. 論文標題 Atomic-scale structural identification and evolution of Co-W-C ternary SWCNT catalytic nanoparticles: High-resolution STEM imaging on SiO <sub>2</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaat9459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aat9459	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 R. Yoshikawa, K. Hisama, H. Ukai, Y. Takagi, T. Inoue, S. Chiashi, S. Maruyama	4. 巻 13
2. 論文標題 Molecular Dynamics of Chirality Definable Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 6506-6512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.8b09754	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 H. Takezaki, T. Inoue, R. Xiang, S. Chiashi, S. Maruyama	4. 巻 96
2. 論文標題 Growth of single-walled carbon nanotubes by alcohol chemical vapor deposition with water vapor addition: Narrowing the diameter and chiral angle distributions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 160-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2019.05.009	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 S. Seo, I. Jeon, R. Xiang, C. Lee, H. Zhang, T. Tanaka, J.-W. Lee, D. Suh, T. Ogamoto, R. Nishikubo, A. Saeki, S. Chiashi, J. Shiomi, H. Kataura, H. M. Lee, Y. Yang, Y. Matsuo, S. Maruyama	4. 巻 7
2. 論文標題 Semiconducting Carbon Nanotubes as Crystal Growth Templates and Grain Bridges in Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 12987-12992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ta02629k	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 Y. Yoshimoto, K. Isomura, S. Sugiyama, H. An, T. Hori, T. Inoue, S. Chiashi, S. Takagi, S. Maruyama, I. Kinefuchi	4. 巻 95
2. 論文標題 In situ observation of dewetting-induced deformation of vertically aligned single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 115-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2019.04.011	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 Hisama Kaoru, Yoshikawa Ryo, Matsuo Teppei, Noguchi Takuya, Kawasuzuki Tomoya, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo	4. 巻 122
2. 論文標題 Growth Analysis of Single-Walled Carbon Nanotubes Based on Interatomic Potentials by Molecular Dynamics Simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9648 ~ 9653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12687	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, Inoue Taiki, An Hua, Xiang Rong, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo	4. 巻 112
2. 論文標題 Quantitative study of bundle size effect on thermal conductivity of single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 191904 ~ 191904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021696	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 Liu Ming, An Hua, Kumamoto Akihito, Inoue Taiki, Chiashi Shohei, Xiang Rong, Maruyama Shigeo	4. 巻 146
2. 論文標題 Efficient growth of vertically-aligned single-walled carbon nanotubes with combining two unfavorable synthesis conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 413 ~ 419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.01.109	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, Inoue Taiki, Watanabe Makoto, Yoshida Shuhei, Qian Yang, Xiang Rong, Kauppinen Esko I., Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo	4. 巻 57
2. 論文標題 Measurement of in-plane sheet thermal conductance of single-walled carbon nanotube thin films by steady-state infrared thermography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 075101 ~ 075101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.075101	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 Jeon II, Xiang Rong, Shawky Ahmed, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 2018
2. 論文標題 Single-Walled Carbon Nanotubes in Emerging Solar Cells: Synthesis and Electrode Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1801312 ~ 1801312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201801312	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 Cui Kehang, Maruyama Shigeo	4. 巻 70
2. 論文標題 Multifunctional graphene and carbon nanotube films for planar heterojunction solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Energy and Combustion Science	6. 最初と最後の頁 1 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pecs.2018.09.001	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48件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 18件）

1. 発表者名 Rong Xiang, Yongjia Zheng, Ming Liu, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 One-dimensional van der Waals heterostructures
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋野 広佑, 長屋 皓紀, Shawky Ahmed, 井ノ上泰輝, 千足 昇平, 丸山 茂夫
2. 発表標題 単層CNT電極を用いたペロブスカイト-シリコンタンデム太陽電池
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

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 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 Ahmed Shawky, Kosuke Akino, Takuya Matsui, Taiki Inoue, Esko Kauppinen, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Utilization of transparent SWCNT films in 4-terminal perovskite-silicon tandem solar cells
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 Ya Feng, Henan Li, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 One dimensional hetero-junction diode
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 Yongjia Zheng, Yang Qian, Ming Liu, Akihito Kumamoto, Yuichi Ikuhara, Esko I Kauppinen, Shohei Chiashi, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth mechanism of one-dimensional heterostructures
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 Pengyingkai Wang, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Makoto Watanabe, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Quantitative study of sheet thermal conductance of Single-Walled carbon nanotube film
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 Hiroki Date, Mika Nagatomo, Akari Kobayashi, Taiki Inoue, Takenori Fujii, Esko Kauppien, Shigeo Maruyama, Shohei 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 2021年

1. 発表者名 Yongjia Zheng, Akihito Kumamoto, Rong Xiang, Kaoru Hisama, Keigo Otsuka, Yuta Sato, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Daiming Tang, Qiang Zhang, Anton Anisimov, Esko Kauppinen, Kazu Suenaga, Yuichiro Ikuhara, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth mechanism and handedness relation of one-dimensional van der Waals heterostructures
3. 学会等名 第60回記念フラレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akari Kobayashi, Ryoya Ishimaru, Keigo Otsuka, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Analysis of acetylene-induced growth acceleration of single-walled carbon nanotubes by isotope labeling technique
3. 学会等名 第60回記念フラレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanori Bamba, Shu Sato, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama, Shohei 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 2021年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Single-Walled Carbon Nanotubes and Hetero-Nanotubes for Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 239th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth and Characterization of Various van der Waals Hetero-Nanotubes Based on Single-Walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 239th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Thermal and Energy Challenges with 1D-Heterostructures based on Single-Walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 X-Reports in Thermal Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Device Applications of One-Dimensional Van der Waals Hetero-Nanotubes
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Fall Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Synthesis of nano-materials by chemical vapor deposition technique
3. 学会等名 ICFD2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小矢野 文章, 山元 隼, 小林 明香里, 石丸 亮哉, 大塚 慶吾, 井ノ上 泰輝, 項 栄, 千足 昇平, 丸山 茂夫
2. 発表標題 単層CNT成長における添加ガスの効果の同位体ラベル分析
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 Ming Liu, Yongjia Zheng, Yang Qian, Rong Xiang, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Esko I. Kauppinen, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Synthesis of Boron Nitride Nanotubes and MoS <sub>2</sub> @BNNTs Heteronanotubes
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 Pengyingkai Wang, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Ahmed Shawky, Makoto Watanabe, Anton Anisimov, Esko I. Kauppinen, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 In-Plane Thermal Conductance of Thin Films Composed of Coaxially Combined Single-Walled Carbon Nanotubes and Boron Nitride Nanotubes
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 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上へのガス流配向CNTの合成とラマン分光測定
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 Yongjia Zheng, Yang Qian, Ming Liu, Akinito Kumamoto, Yuichi Ikuhara, Esko I. Kauppinen, Shohei Chiashi, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Chemical vapor deposition of one-dimensional heterostructures
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 Satoshi Yotsumoto, Hayato Arai, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Rayleigh scattering measurement of suspended SWCNTs coaxially wrapped with BNNTs
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 大川 脩平, Il Jeon, Ahmed Shawky, Seungju Seo, 井ノ上 泰輝, 千足 昇平, 田中 丈士, 片浦 弘道, 松尾 豊, 丸山 茂夫
2. 発表標題 構造分離単層CNTを用いたペロブスカイト太陽電池の作製と評価
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 村上 大巧, 松下 覚, 荒井 隼人, 鄭 永嘉, 錢 洋, 井ノ上 泰輝, 項 栄, 千足 昇平, 丸山 茂夫
2. 発表標題 炭素/窒化ホウ素/二硫化モリブデンで構成されたヘテロナノチューブの合成と転写
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 Ming Liu, Yongjia Zheng, Yang Qian, Rong Xiang, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Esko Kauppinen, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Synthesis of MoS2 nanotubes based on boron nitride nanotubes
3. 学会等名 IWEPNM2020, XXXIVth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Yoshimoto, Koichi Isomura, Sou Sugiyama, Hua An, Takuma Hori, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Shu Takagi, Shigeo Maruyama, Ikuya Kinefuchi
2. 発表標題 In Situ Identification of Dewetting-Induced Large-Scale Deformation of Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 DFD2019, 72nd Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hayato Arai, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth of Monolayer Hexagonal Boron Nitride Single-Crystals on Exfoliated Graphite
3. 学会等名 32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒井 隼人, 井ノ上 泰輝, 項 栄, 千足 昇平, 丸山 茂夫
2. 発表標題 グラファイト上での単層六方晶窒化ホウ素単結晶の化学気相成長
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 Taikou Murakami, Hayato Arai, Yongjia Zheng, Yang Qian, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth of single-crystalline MoS <sub>2</sub> on 1D and 2D boron nitride systems
3. 学会等名 第57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 2019年

1. 発表者名 Shinji Igimi, Morihiro Okada, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Synthesis of vertically aligned CNTs and evaluation of yarn spinnability
3. 学会等名 第57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 2019年

1. 発表者名 Taiki Inoue, Bunsho Koyano, Shun Yamamoto, Keigo Otsuka, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth, etching, and regrowth of individual single-walled carbon nanotubes: Isotope labeling study
3. 学会等名 第57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 2019年

1. 発表者名 Yongjia Zheng, Rong Xiang, Taiki Inoue, Yang Qian, Ming Liu, Shohei Chiashi, Esko I. Kauppinen, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Chemical vapor deposition of one-dimensional heterostructures
3. 学会等名 ChinaNano 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Pengyingkai Wang, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Enhanced in-plane thermal conductance of single-walled carbon nanotube/boron nitride nanotube composite films
3. 学会等名 ChinaNano 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Yotsumoto, Tatsuro Ogamoto, Tatsuya Murai, Hayato Arai, Taiki Inoue, Rong Xiang, Shigeo Maruyama, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Photoluminescence Spectra from Single-Walled Carbon Nanotubes on hexagonal Boron Nitride
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeo Maruyama, Rong Xiang, Taiki Inoue, Yongjia Zheng, Ming Liu, Yuta Sato, Akihito Kumamoto, Yan Li, Shohei Chiashi, Esko Kauppinen, Kazu Suenaga, Yuichi Ikuhara
2. 発表標題 Application of one-dimensional van der Waals heterostructures coaxially wrapped around single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ming Liu, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Shohei Chiashi, Rong Xiang, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Synthesis of Boron Nitride Wrapped Vertically-Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes and Boron Nitride Nanotubes Array
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiki Inoue, Bunsho Koyano, Shun Yamamoto, Shota Hiraoka, Keigo Otsuka, Rong Xiang, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 Growth process of individual single-walled carbon nanotubes analyzed by isotope labelling
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上 大巧, 荒井 隼人, 鄭 永嘉, 錢 洋, 井ノ上 泰輝, 項 栄, 千足 昇平, 丸山 茂夫
2. 発表標題 ヘテロ多層ナノチューブの合成と転写
3. 学会等名 第 56 回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Pengyingkai Wang, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Makoto Watanabe, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 In-plane thermal conductivity of thin films composed of single-walled carbon nanotubes coaxially coated with boron nitride nanotubes
3. 学会等名 第 56 回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ahmed Shawky, Il Jeon, Rong Xiang, Taiki Inoue, Yutaka Matsuo, Sshigeo Maruyama
2. 発表標題 High Performance Carbon Nanotube ?Laminated Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 235th ECS meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rong Xiang, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama
2. 発表標題 One Dimensional Van Der Waals Heterostructures Wrapped Around Single-Walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 235th ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 *S. Maruyama, K. Otsuka, S. Yamamoto, B. Koyano, R. Xiang, T. Inoue, S. Chiashi
2. 発表標題 Digital-Coded Isotope Labeling on Individual Single-Walled Carbon Nanotubes Grown on Crystal Quartz,
3. 学会等名 233rd ECS 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 *K. Otsuka, S. Yamamoto, T. Inoue, R. Xiang, S. Chiashi, S. Maruyama,
2. 発表標題 Tracing individual growth process of single-walled carbon nanotubes by digitally coding isotope labels
3. 学会等名 7th Workshop on Nanotube optics and Nanospectroscopy (Wonton 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 *S. Yamamoto, K. Otsuka, B. Koyano, T. Inoue, R. Xiang, S. Chiashi, S. Maruyama,
2. 発表標題 Effects of catalysts and growth conditions on growth process of individual SWNTs studied by digital isotope labeling
3. 学会等名 第55回フラレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 *S. Yamamoto, B. Koyano, S. Hiraoka, K. Hisama, K. Otsuka, T. Inoue, R. Xiang, S. Chiashi, S. Maruyama,
2. 発表標題 Relation between growth conditions and growth profiles of individual SWNTs studied by digital isotope labeling
3. 学会等名 第56回 フラレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 *小矢野 文章, 山元 隼, 大塚 慶吾, 井ノ上 泰輝, 項 栄, 千足 昇平, 丸山 茂夫,
2. 発表標題 同位体ラベルによる単層カーボンナノチューブの再成長の分析
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

## 〔図書〕 計4件

1. 著者名 Yan Li, Shigeo Maruyama	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 333
3. 書名 Single-Walled Carbon Nanotubes: Preparation, Properties and Applications	

1. 著者名 S. Chiashi, Y. Homma and S. Maruyama	4. 発行年 2019年
2. 出版社 World Scientific	5. 総ページ数 812
3. 書名 Chapter 9. Raman spectroscopy for practical characterization of single-walled carbon nanotubes in various environments, in Handbook of Carbon Nanomaterials Vol. 10: Optical Properties of Carbon Nanotubes - A Volume Dedicated to the Memory of Professor Mildred Dresselhaus	

1. 著者名 マイクロ・ナノ熱工学の進展編集委員会、丸山 茂夫、稲田 孝明ほか17名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 808
3. 書名 マイクロ・ナノ熱工学の進展	

1. 著者名 K. Liu, Y. K. Kato and S. Maruyama	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 179
3. 書名 Optical Spectroscopy of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes, in Progress in Nanophotonics 6	

## 〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学工学部機械工学科丸山・千足研究室  
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.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>  
 Rong Xiang, The University of Tokyo  
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~xiangrong/index.html>  
 大阪大学工学研究科、井ノ上泰輝  
<http://www.ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/~inoue/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	千足 昇平  (Chiashi Shohei)  (50434022)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授   (12601)	
研究分担者	項 栄  (Xiang Rong)  (20740096)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授   (12601)	
研究分担者	井ノ上 泰輝  (Taiki Inoue)  (00748949)	大阪大学・工学研究科・助教   (14401)	

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			
フランス	Aix-Marseille University	CNRS-ONERA		
中国	Peking University			