

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00664

研究課題名(和文) 先進プラズマ活用1次元ナノカーボン材料の完全原子配列制御合成と革新的応用開拓

研究課題名(英文) Plasma CVD synthesis of atomically precise 1D nanocarbon materials and its innovative applications

研究代表者

加藤 俊顕 (Kato, Toshiaki)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20502082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：1次元ナノカーボン材料であるカーボンナノチューブ(CNT)とグラフェンナノリボン(GNR)に関して独自に開発したプラズマCVD法を活用することで、原子レベルでの精密な構造制御合成を行った結果、(6,5)CNTを世界最高純度である96%で直接合成することに成功した。さらにGNRをベースとした量子ドットの開発に成功し、それらを集積化合成可能であることを実証した。また、類似の原子層材料である遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)に関する研究を展開し、その場観測CVD合成の開発、非古典的核生成機構の発見、および可視光平均透過率79%の極めて透明度の高い太陽電池の開発にそれぞれ成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1次元ナノカーボン材料の原子構造を精密に制御して合成する技術を開発した本成果は、今後の基礎研究と応用開発の両側面に貢献が期待できる社会的意義の高い研究成果である。特にプラズマCVDにより(6,5)CNTの超高純度合成を実現した成果は、30年以上未解決のCNTカイラリティ制御につながるものであり学術的にも極めて価値のある成果である。また、2次元結晶に関して独自に開発したその場観測装置により成長機構を定量的に解明した成果は、2次元結晶成長の学理構築の観点で重要である。さらに窓ガラスと同程度の透過率を持つ高透明太陽電池を実現した成果は、グリーンイノベーションの観点で社会的にも重要な貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Atomically-precise structural-controlled synthesis of 1D nanocarbon materials such as carbon nanotubes (CNTs) and graphene nanoribbons (GNRs) has been realized by using advanced plasma processing. For CNTs, ultra-high purity (>96%) synthesis of (6,5) CNTs has been realized. For GNRs, integrated synthesis of GNR-based quantum dot device has been realized by rapid heating plasma CVD. Synthesis of similar low dimensional materials, known as transition metal dichalcogenides (TMDs), has been also investigated, resulting in first development of in-situ monitoring CVD for real 2D materials. Non-classical nucleation has also been elucidated by using this method. Furthermore, as an innovative device applications of 2D materials, nearly invisible solar cell has been fabricated with monolayer TMD, where averaged visible transparency is about 79%, which is almost same with that of window glass.

研究分野：ナノ材料科学、プラズマ材料科学

キーワード：カーボンナノチューブ グラフェンナノリボン 遷移金属ダイカルコゲナイド 原子構造制御合成 プラズマCVD 量子ドット その場観測 高透明太陽電池

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

構成原子の全てが最表面に位置する1次元材料(カーボンナノチューブ(CNTs)、グラフェンナノリボン(GNRs))においては、極僅かな原子配列差異(例えば原子1個のずれ)が物性に重要な影響を与える。このため、1次元材料において、原子レベルの構造制御は、物性制御の観点で非常に重要な課題である。これら1次元ナノカーボン材料は、極めて高いキャリア移動度、機械的柔軟性、光透過性、テラヘルツ応答性、無散乱キャリア輸送、長寿命スピン輸送等既存物質を著しく凌駕する優れた基礎物性を有することが理論的に予測されている。一方で、この様に1次元ナノカーボン材料が本来有する優れた物性を実用デバイスとして活用する段階には至っておらず、この原因は原子配列制御の困難さに由来している。

2. 研究の目的

本研究では、プラズマ状態を積極的に活用した1次元ナノカーボン材料の合成と応用に関し、第一にプラズマ因子と原子配列決定に関する相関解明を、第二にその知見を活用した完全原子配列制御合成を、さらに第三にそれらを活用した革新的応用の開拓を目的とする。

3. 研究の方法

ナノカーボン材料であるGNRsとCNTsに関して、独自に開発したプラズマCVD法を発展させることで、原子レベルでの構造制御合成を行った。さらに、本研究により得た知見を類似の原子層材料である遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDs)に展開し、精密構造制御合成とその合成機構解明を行った。合成されたナノ材料の構造評価は、走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)、走査型TEM(STEM)、及び原子間力顕微鏡(AFM)により、また光学物性をラマン分光、紫外可視近赤外吸収分光(UV-Vis-NIR)、発光-励起(PLE)マッピングによりそれぞれ精密に評価した。さらに、合成した材料に対して、量子デバイスと太陽電池を試作し、それぞれの応用展開の可能性を探索した。

4. 研究成果

(1)カーボンナノチューブのカイラリティ制御合成

CNTsの特定のカイラリティを選択的に合成できる新多元系触媒を発見した。発見した三元系触媒を用いてプラズマCVD合成することで、(6,5)CNTsを96%の世界最高純度で合成することに成功した(図1)[海外特許出願中]。同純度はPLE法に加え、UV-Vis-NIR、多波長ラマンにおけるラジアルブリージングモード(RBM)の出現確率解析により確認している。3元系以上の触媒ではCNTの合成すら報告されていないこと、従来の(6,5)最高純度が55%程度であったこと、90%を超えるCNTsの直接合成はこれまでに(12,6)と(14,4)の2例しか報告されていないこと等から、本成果は極めて重要な成果と言える。(6,5)選択成長メカニズムとプラズマ効果の解明に関しても研究を行い、触媒ナノ粒子に形成された特殊な結晶構造が(6,5)成長に支配的な効果を与えていることを、X線構造解析、TEM、STEM、第一原理計算等により明らかにした。さらに、プラズマCVDによる低温合成が(6,5)の純度向上に極めて重要な効果をもたらすことも証明した。本手法を拡張し、今後様々なカイラリティのCNTs制御合成が期待できる。

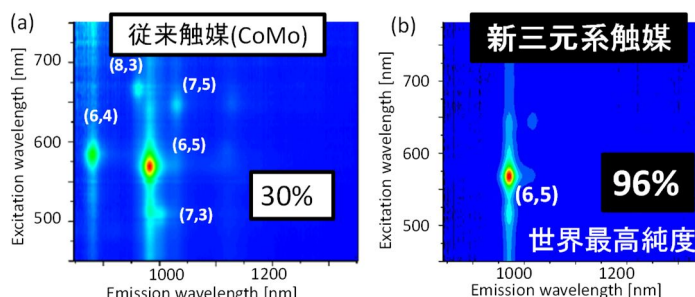


図1:(a)従来触媒と(b)新触媒でプラズマCVD合成したCNTsの蛍光励起マッピング。

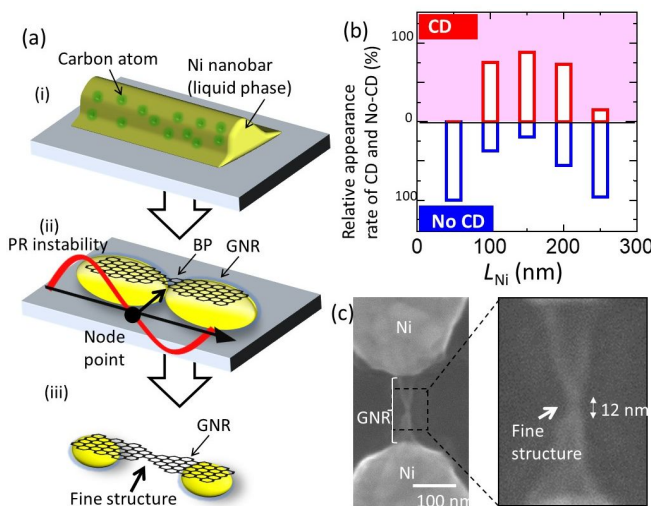


図2:(a)本手法におけるGNRの合成モデル図。(b)合成したデバイスにおいてCDが観測される確率のL<sub>Ni</sub>依存性。(c)典型的な局所構造を持つGNRのSEM像。

## (2) GNR 量子ドットの集積化合成

**1 次元 GNR を 0 次元に量子ドット化する技術を開発し、GNR 量子ドットデバイスの大規模集積化合成の実現を目指し研究を行った。**これまでの我々の研究から、基板上に予め配置したニッケルの **1 次元触媒 (Ni ナノバー)** が高温環境で液体状態をとり、その際に溶け込んだ炭素が冷却過程で析出すること、及びその後液体状態の **Ni ナノバー** が液滴に分裂して両端に拡散することで、架橋構造の **GNR** が合成できることが明らかとなっていた (図 2(a))。一方、従来手法で合成される **GNR** は長さが数百 nm ~ 1 μm 程度ある **1 次元構造** をとっており、詳細な量子ドットとしての振る舞いは未解明であった。そこで、**1 次元構造の GNR 長さ**を可能な限り短くし **0 次元構造** に近づけることで、より安定な量子ドット形成が期待できると考え、**GNR の長さ**を決定している初期の **Ni ナノバー長 ( $L_{Ni}$ )** を変化させて合成条件の最適化を行った。その結果、**GNR 量子ドットデバイス**の作製効率が  $L_{Ni}$  に強く依存することが判明した。また、合成された **GNR** の量子伝導特性を ~ **15 K** の低温下で測定した結果、特定の  $L_{Ni}$  (**100 ~ 200 nm**) の条件で極めて良好なクーロンダイヤモンド (**CD**) 特性が高確率で観測されることが明らかとなった (図 2(b))。CD 特性と **GNR** 構造解析の結果から、**GNR** 中に形成された幅の狭い局所構造が **0 次元の量子ドット**として振舞っている可能性が示唆された (図 2(c))。さらに、同手法を活用した大規模集積化の可能性を検討するため、基板上に **16 個の GNRs** を集積化し、**CD** が観測されるデバイス確率を評価した結果、半数以上の **9 個のデバイス**で明確な **CD** の観測に成功し、本手法を用いることで **56% の作製効率**で **GNR 量子ドット**が同一基板上に集積化合成可能であることを実証した。

また、より詳細な **GNR 量子ドット**の特性を評価するため、極低温下 (~ **2.2 K**) での量子伝導特性の評価を行った。その結果、**CD** 特性のダイヤモンド端 (**GS**) 周辺に平行なラインが複数観測され、これらが **GNR 量子ドット**における励起準位 (**ES**) であることが判明した (図 3)。さらに **GNR 量子ドット**中の励起準位は **20 K** 程度まで安定に存在可能であることが明らかとなり、高温動作量子ドットデバイス実現に向け、**GNR 量子ドット**が大きな可能性を有することが明らかとなった (図 4) [1]。

## (3) GNR 熱電物性解明

本手法で合成した **GNR** の詳細な熱電物性の直接計測を試みた。その結果、本手法合成した架橋 **GNR** が極めて優れた熱電材料であることが判明した。熱電性能指数 **ZT** 値がナノカーボン材料としては極めて高い **0.1** まで向上することが分かり、この理由が本手法で合成した成長したままの良好な界面を持つ **GNR** 試料に由来していることが明らかとなった。本成果は、本手法で合成した集積化可能な **GNR** の熱電デバイス応用の可能性を示す極めて重要な成果である [2]。

## (4) TMD 合成機構解明

その場観測 **CVD** 法を用いて、グラフェンと類似の原子層材料である、遷移金属ダイカルコゲンナイド (**TMDs**) の成長初期過程の基板上的様子を光学的に撮影することに世界で初めて成功し

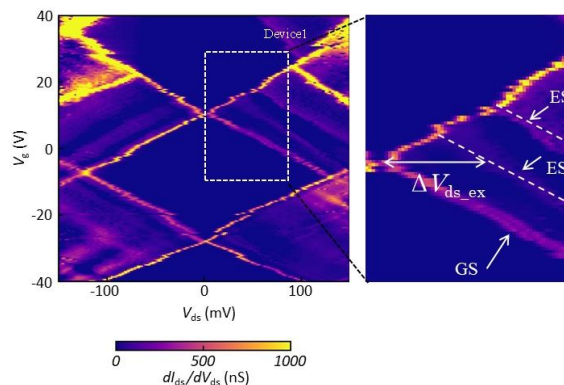


図 3: 2.2 K で測定した **GNR 量子ドット**の(左)クーロンダイヤモンド特性と(右)励起準位が観測された領域の拡大図。

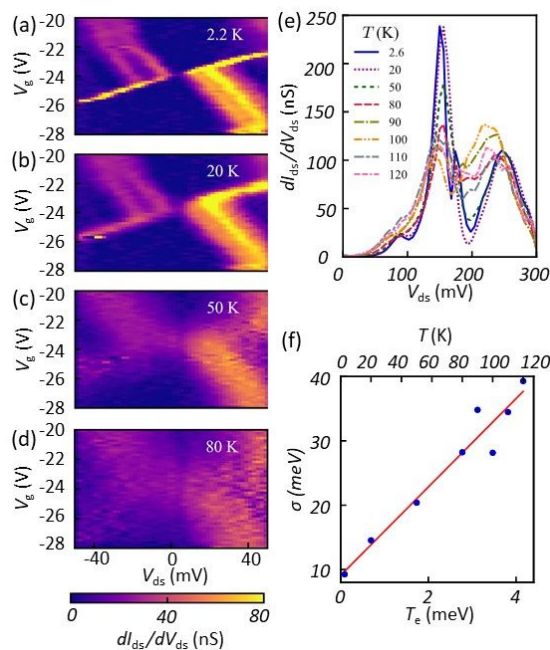


図 4: **GNR 量子ドット**における励起準位の温度依存性。(a-d) (a) 2.2 K、(b) 20 K、(c) 50 K、および (d) 80 K で測定した **GNR 量子ドット**の電気伝導特性。(e) 微分コンダクタンス ( $dI_{ds}/dV_{ds}$ ) の温度依存性。(f) ソースドレイン電圧 ( $V_{ds}$ ) = 0.15 V における励起準位線幅 ( $\sigma$ ) の温度依存性。



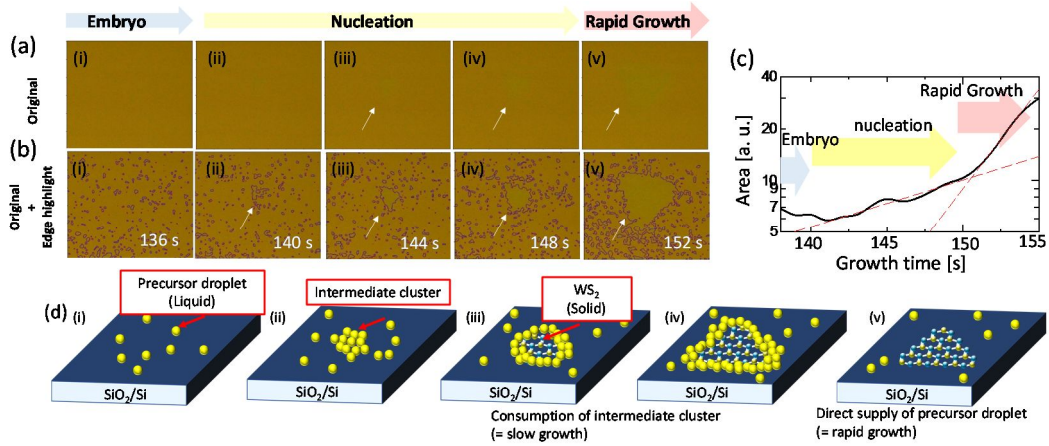


図 5: その場観測 CVD で観測した(a)オリジナル画像と(b)自動画像解析により結晶輪郭をハイライトした画像の成長時間発展の様子。(c)自動画像解析により抽出した単層  $WS_2$  結晶面積の時間発展プロファイル。(d)画像解析結果に基づく、単層  $WS_2$  の初期核発生機構概略図 ( (i)液体前駆体が基板上を拡散、(ii)液体前駆体がクラスターを形成、(iii)前駆体クラスター内部から単層  $WS_2$  の核が発生、(iv)前駆体クラスター内部で  $WS_2$  成長が継続、(v)前駆体クラスターが全て消費され単層  $WS_2$  が成長 ) )。

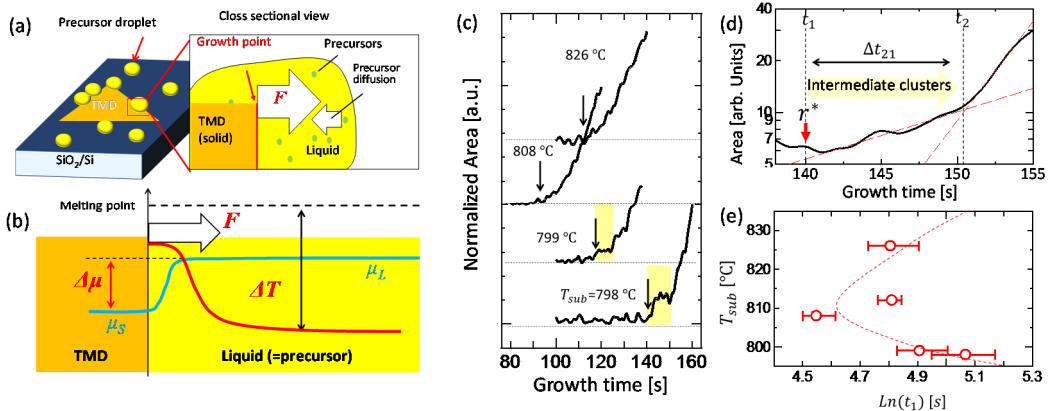


図 6: (a,b)TMD 結晶成長界面における(a)液体前駆体との関係と(b)熱力学パラメータ ( $F$ : 結晶成長駆動力、 $\mu_{L(S)}$ : 液相(固相)の化学ポテンシャル)  $\Delta\mu$ : 液相と固相の化学ポテンシャル差、 $\Delta T$ : 固体結晶の融点と液相前駆体との温度差) との相関図。(c)異なる基板温度条件で成長した単層  $WS_2$  面積の時間変化。(d)結晶成長初期における単層  $WS_2$  面積の時間変化、及び (e)基板温度( $T_{sub}$ )と結晶核発生時間( $t_1$ )との関係。

た[3]。さらにこれにより得られた結晶成長画像を自動解析する機構を新たに開発することで、肉眼では判別が困難な初期の結晶核形成過程を詳細かつ定量的に計測することに成功した。その結果、まず気相から供給された成長前駆体が微小液体(液滴)状態に変化し基板上を動き回り、次に複数の液滴が融合したクラスター(前駆体の中間状態)を形成した後、クラスター内部で液体-固体相転移が発生することで TMDs の一種である単層二硫化タングステン( $WS_2$ )が成長することが明らかとなった(図 5)。一般的な古典的核形成モデルにおいては、前駆体からの核形成が中間状態を経ず一段階で進行するのに対し、このような中間クラスターを経由する現象は、非古典的核形成モデルの二段階核形成として知られている。このような非古典的な核形成に関しては、近年、高分子や微粒子等の成長過程においてその存在が報告され、新たな核形成モデルとして大きな注目を集めている。TMDs の核形成がこの非古典的核形成モデルによることを実証したのは本研究が世界で初めてである[4]。

さらに、成長基板のみの温度を独立に精密制御可能な機構を取り入れることで、TMD 核形成までにかかる時間(インキュベーション時間)が基板温度( $\approx$ 液体前駆体温度)に依存して非線形な振る舞いをすることを明らかにし、この現象を液体前駆体の熱活性に伴う拡散能力と、液相と固相の温度差に由来する結晶成長駆動力のバランスで決定することを熱力学的に解明した(図 6)。

本研究により原子オーダーの厚みを持つ次世代半導体材料である TMD 原子シートの新たな核形成機構の解明に成功した。今回明らかにした非古典的核形成機構を活用することで、今後、巨大単結晶 TMDs の合成や、二層 TMDs における積層方位制御など、TMD 結晶の高品質化の

観点で極めて重要な貢献が期待できる。

### (5)完全透明太陽電池の実現

上記手法で合成した、高品質 TMDs を活用して、高透明な太陽電池(NISC)の開発を目指し研究を行った。本研究では、既に我々が有効性を実証しているショットキー型 TMD 太陽電池をベースとして、新たに透明電極である ITO 電極を活用することで高い可視光平均透過率(AVT)を持つ太陽電池の実現を目指した。ショットキー原子層太陽電池で発電効率を高めるには、理想的には TMD の左右に ITO 電極が接続したデバイス構造において、片方の ITO/TMD 界面ではできるだけ高いショットキー障壁を、対向部では低い障壁を形成し、それぞれ電荷分離領域とキャリア捕集領域として利用する必要がある。従って、ITO/TMD 間のショットキー障壁を自在に制御可能な技術が必要となる。そこで、ITO 電極の表面に数 nm 以下の様々な金属薄膜を堆積させて ITO 電極の仕事関数を制御することで、ITO の透明度を維持したまま ITO/TMD 間のショットキー障壁高さの制御を試みた。その結果、挿入する金属薄膜の種類と膜厚により、ITO の透明度を損なうことなく、TMD 接合部のショットキー障壁高さが自在に制御可能であることを見出した。そこで、電荷分離領域とキャリア捕集領域にそれぞれ最適な金属薄膜/ITO 構造を選択してデバイスを作製し太陽光発電性能を比較すると、単純な ITO 電極のみを用いた場合に比べ、最適化した金属薄膜/ITO 電極構造では発電効率 (PCE) が 1000 倍以上も向上することを明らかとなった。さらに、透明太陽電池の実用化に必須の面積化に関する研究も行った。予想に反し、二本の平行電極対からなる基本ユニット構造の面積を単純に cm スケールに拡大することで総発電量(PT)の増加を試みたが、この方法では PT を増加させることはできず、その原因が面積増加に伴う開放電圧の低下にあることを突き止めた。そこで、開放電圧の低下を抑制するため、電極幅と長さから算出されるアスペクト比を一定値以下に設計した結果、デバイス面積の増加に従い PT が増加することを明らかとした。本研究で明らかにしたこのデバイス設計指針に基づいて TMD 太陽電池を 1 cm<sup>2</sup> の石英基板上に大規模集積化した結果、極めて高い透明度と呼べるレベルの可視光透過率

79%を維持した状態で、420 pW の太陽光発電を実証した(図 7) [5]。現在市販されている最も低消費電力の電子デバイスは 100 pW 程度の電力で駆動できるため、今回の 1 cm<sup>2</sup> の完全高透明太陽電池でも実用デバイスの駆動が十分可能であることが明らかとなった。窓ガラスと同程度の可視光透過率を持つ、極めて透明度の高い太陽電池の開発に成功した本成果は、環境調和型の発電素子として、今後グリーンイノベーションの観点で大きな貢献が期待できる。

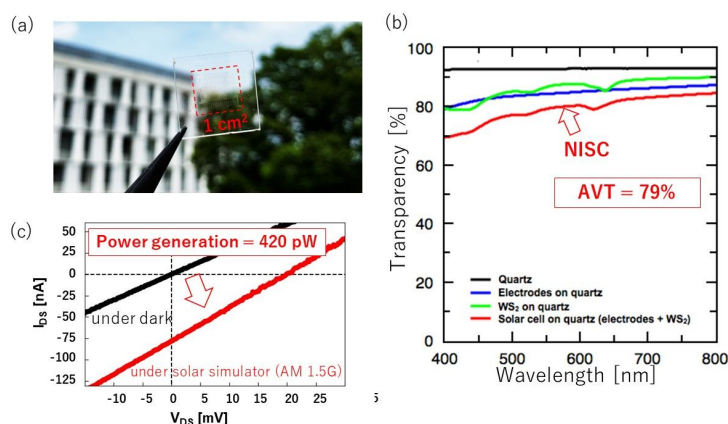


図 7: 本研究で試作した高透明 TMD 太陽電池の(a)光学写真、(b)透過率スペクトル、および(c)発電特性。

< 引用文献 >

- [1] T. Kato, T. Kitada, M. Seo, W. Okita, N. Sato, M. Shinozaki, T. Abe, T. Kumasaka, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, T. Otsuka, “Scalable fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with stable orbital-level spacing”, *Communications Materials* **3**, 103-1-7, 2022.
- [2] Q.-Y. Li, T. Feng, W. Okita, Y. Komori, H. Suzuki, T. Kato, T. Kaneko, T. Ikuta, X. Ruan, K. Takahashi, “Enhanced Thermoelectric Performance of As-Grown Suspended Graphene Nanoribbons”, *ACS Nano* **13**, 9182-9189, 2019.
- [3] C. Li, T. Kameyama, T. Takahashi, T. Kaneko, T. Kato, “Nucleation dynamics of single crystal WS<sub>2</sub> from droplet precursors uncovered by in-situ monitoring”, *Scientific Reports* **9**, 12958-1-7, 2019.
- [4] X. Qiang, Y. Iwamoto, A. Watanabe, T. Kameyama, X. He, T. Kaneko, Y. Shibuta, T. Kato, “Non-classical nucleation in vapor-liquid-solid growth of monolayer WS<sub>2</sub> revealed by in-situ monitoring chemical vapor deposition”, *Scientific Reports* **11**, 22285-1-9, 2021.
- [5] X. He, Y. Iwamoto, T. Kaneko, T. Kato, “Fabrication of near-invisible solar cell with monolayer WS<sub>2</sub>”, *Scientific Reports* **12**, 11315-1-8, 2022.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 H. Sugiura, Y. Ohashi, K. Ishikawa, H. Kondo, T. Kato, T. Kaneko, K. Takeda, T. Tsutsumi, T. Hayashi, M. Sekine, M. Hori	4. 巻 104
2. 論文標題 Gas-phase and film analysis of hydrogenated amorphous carbon films: Effect of ion bombardment energy flux on sp <sup>2</sup> carbon structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 107651-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2019.107651	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 J. Zhou, X. He, T. Kato, K. Yoshikawa, H. Yamada	4. 巻 19
2. 論文標題 Power generation characteristics of Si PV cell under extremely high-intensity near-infrared light irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 3-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/elex.19.20210476	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 X. He, Y. Iwamoto, T. Kaneko T. Kato	4. 巻 12
2. 論文標題 Fabrication of near-invisible solar cell with monolayer WS <sub>2</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11315-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15352-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 -
1. 著者名 T. Kato, T. Kitada, M. Seo, W. Okita, N. Sato, M. Shinozaki, T. Abe, T. Kumasaka, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, T. Otsuka	4. 巻 3
2. 論文標題 Scalable fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with stable orbital-level spacing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 103-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-022-00326-3	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 X. Qiang, Y. Iwamoto, A. Watanabe, T. Kameyama, X. He, T. Kaneko, Y. Shibuta & T. Kato	4. 巻 11
2. 論文標題 Non-classical nucleation in vapor-liquid-solid growth of monolayer WS2 revealed by in-situ monitoring chemical vapor deposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22285-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-01666-9	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 加藤俊顕, 何杏, 金子俊郎	4. 巻 2
2. 論文標題 透明太陽電池の最新動向	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 WEB Journal	6. 最初と最後の頁 34-37
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 加藤俊顕, 金子俊郎	4. 巻 98
2. 論文標題 プラズマCVD 合成グラフェンナノリボンのデバイス応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Plasma Fusion Res.	6. 最初と最後の頁 165-170
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 B. Xu, T. Kaneko, and T. Kato	4. 巻 13
2. 論文標題 Improvement in growth yield of single-walled carbon nanotubes with narrow chirality distribution by pulse plasma CVD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers of Chemical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 485-492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11705-019-1831-2	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 Q.-Y. Li, T. Feng, W. Okita, Y. Komori, H. Suzuki, T. Kato, T. Kaneko, T. Ikuta, X. Ruan, K. Takahashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Enhanced Thermoelectric Performance of As-Grown Suspended Graphene Nanoribbons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 9182-9189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b03521	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 C. Li, T. Kameyama, T. Takahashi, T. Kaneko, T. Kato	4. 巻 9
2. 論文標題 Nucleation dynamics of single crystal WS2 from droplet precursors uncovered by in-situ monitoring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12958-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-49113-0	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 加藤俊顕	4. 巻 31
2. 論文標題 原子層シートを活用した可視光の約80%を通すほぼ透明な太陽電池の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 クリーンエネルギー	6. 最初と最後の頁 7-10
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 加藤俊顕	4. 巻 33
2. 論文標題 2次元シート材料を用いた 完全透明太陽電池の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 クリーンテクノロジー	6. 最初と最後の頁 32-34
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 加藤俊顕, 金子俊郎	4. 巻 49
2. 論文標題 プラズマCVDによるグラフェンナノリボンのボトムアップ合成と新規不揮発性メモリ応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ファインケミカル	6. 最初と最後の頁 39-47
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 加藤俊顕, 鈴木弘朗, 金子俊郎	4. 巻 62
2. 論文標題 プラズマCVDによるグラフェンナノリボンのボトムアップ合成と光電子デバイス応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 表面と真空	6. 最初と最後の頁 599-604
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 -

〔学会発表〕 計80件 (うち招待講演 28件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 2次元シート材料を用いた完全透明太陽電池の開発
3. 学会等名 令和4年度 東北大学-JST新技術説明会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. S. Kato, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Barrier height control of graphene nanoribbon-based quantum dot devices
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kato
2. 発表標題 Growth mechanism of transition metal dichalcogenides revealed by in-situ monitoring CVD
3. 学会等名 The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Iwamoto, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Correlation between growth speed and crystallinity of monolayer WS <sub>2</sub> revealed by in-situ monitoring CVD
3. 学会等名 The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Nakajo, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Elucidation of formation mechanism of high-quality Janus WSeS by mild plasma atomic substitution
3. 学会等名 The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 樹, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 プラズマCVDによるグラフェンナノリボン量子ドットデバイスの閉じ込め障壁制御
3. 学会等名 第16回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩本 祐汰, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測CVDによる単層WS <sub>2</sub> 成長形態時間変化と構造欠陥導入機構の相関解明
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 樹, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 グラフェンナノリボン量子ドット素子集積化における閉じ込め障壁制御
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木 颯馬, 岩本 祐汰, 何 杏, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 プラズマ原子置換法による高品質ヤヌスTMDの合成
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. S. Kato, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Control of Schottky barrier height for efficient fabrication of graphene nanoribbon-based quantum dot devices
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Iwamoto, X. Qiang, X. He, T. Kaneko, and T. Kato
2. 発表標題 Direct observation of monolayer WS <sub>2</sub> nucleation physical factor by in-situ monitoring CVD
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 最先端原子層材料のプラズマ合成と革新的応用開発
3. 学会等名 KOKUSAI ELECTRIC プラズマ技術講演 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 原子層材料合成技術の基礎と応用～可視光の約80%を透過する完全透明太陽電池の開発動向～
3. 学会等名 情報機構オンラインセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 「材料データを使う」～機械学習を活用したカーボンナノチューブの構造制御合成～
3. 学会等名 第15回 東北大学 実践データ駆動科学オンラインセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 完全透明太陽電池が拓く新しいグリーン社会
3. 学会等名 第10回 東北大学 グリーン・ゴールズ・パートナー グリーン・シーズ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 2次元原子層シートを用いた高透明太陽電池の開発
3. 学会等名 技術情報協会講習会 『フレキシブル・透明太陽電池の開発動向とその高効率化』 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 50年後の社会におけるデバイスとプラズマプロセスの関係
3. 学会等名 日本学術振興会プラズマ材料科学第153 委員会第161 回研究 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kato
2. 発表標題 In-situ monitoring synthesis and functionalization of transition metal dichalcogenide
3. 学会等名 The 11th International Workshop on 2D Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 低温気相プロセスを用いた1?2次元材料の作製と量子ドットデバイス応用
3. 学会等名 令和4年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会「革新的気相プロセスによるナノ材料創成と高機能デバイス応用」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中條 博史, 青木 颯馬, 岩本 裕太, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 In-situ monitoring plasma atomic functionalization for synthesis of high quality Janus WSeS
3. 学会等名 第64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 2023年

1. 発表者名 中條 博史, 青木 颯馬, 岩本 祐汰, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測プラズマ原子置換法によるTMDヤヌス化反応における気相内活性種効果の解明
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 X. He, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Schottky Contact Improvement of Monolayer WS <sub>2</sub> in Transparent Solar Cell
3. 学会等名 8th International Workshop on 2D Materials (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 機械学習を活用した原子層物質の精密構造制御合成 ~カーボンナノチューブから二次元シートまで~
3. 学会等名 日本学術振興会 R025 先進薄膜表面機能創成委員会 第4回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 グラフェンナノリボンの高度集積化合成と量子デバイス応用
3. 学会等名 第74回CVD研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Iwamoto, Q. Xiaoming, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Real time imaging of 2D material growth by in-situ monitoring CVD
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Murohashi, S. Siina, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Elucidation of precursors effects for the growth of (6,4) single-walled carbon nanotubes during plasma CVD
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 X. He, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Schottky barrier height control by reducing Fermi level pinning effect between the single-layer WS <sub>2</sub> and ITO electrodes for high-performance transparent solar cell
3. 学会等名 第61回 フラールン・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 N. Sato, T. Kitada, M. Seo, T. Kaneko, T. Otsuka, T. Kato
2. 発表標題 Efficient fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with temperature-stable orbital-level spacing
3. 学会等名 第61回 フラールン・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 岩本 祐汰, 強 効銘, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測による単層WS <sub>2</sub> の多層化機構解明
3. 学会等名 第15回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本 祐汰, 強 効銘, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測による単層WS <sub>2</sub> インキュベーション時間決定機構の解明
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 原子層材料の構造制御合成と機械学習活用
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Plasma Synthesis of Highly-Integrated Graphene Nanoribbons and its Advanced Applications
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Sato, T. Kitada, M. Seo, T. Kaneko, T. Otsuka, T. Kato
2. 発表標題 Plasma CVD Synthesis of graphene nanoribbon quantum dot devices with temperature-stable orbital-level spacing
3. 学会等名 The 74th Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Integrated Synthesis of Graphene Nanoribbon Quantum Dot
3. 学会等名 The 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 X. He, T. Kaneko, and T. Kato
2. 発表標題 Schottky Barrier Engineering between the Single-Layer WS <sub>2</sub> and ITO Electrodes for High-Performance Transparent Solar Cells
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Plasma CVD Synthesis of Graphene Nanoribbon Quantum Dot
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 単層遷移金属ダイカルコゲナイドのその場観測CVD合成と応用
3. 学会等名 (公社)日本表面真空学会 東日本合同セミナー 先端的試料作製技術～原子層物質～(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 尚郁, 加藤 樹, 北田 孝仁, 瀬尾 瑞樹, 金子 俊郎, 大塚 朋廣, 加藤 俊顕
2. 発表標題 プラズマCVDにより合成したグラフェンナノリボン量子ドットデバイスの電気伝導特性評価
3. 学会等名 The 39-th Symposium on Plasma Processing/ The 34-th Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 俊顕
2. 発表標題 プラズマCVDを用いたグラフェンナノリボン量子ドット 作製
3. 学会等名 令和3年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会「物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 X. He, S. Aoki, Y. Iwamoto, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Layer by layer sulfurization of WSe <sub>2</sub> toward formation of Janus WSeS
3. 学会等名 第62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 2022年

1. 発表者名 岩本 祐汰, 強 効銘, 何 杏, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測CVDにより解明した単層WS <sub>2</sub> の非古典的核成長
3. 学会等名 第62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 2022年

1. 発表者名 佐藤 尚郁, 金子 俊郎, 大塚 朋廣, 加藤 俊顕
2. 発表標題 グラフェンナノリボンパリスティックジョセフソン接合の直接合成
3. 学会等名 第62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 2022年

1. 発表者名 岩本 祐汰, 強 効銘, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測CVDにより解明した単層WS <sub>2</sub> の非古典的核成長
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Sato, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Effects of nanobar structures on device performance of graphene nanoribbons grown by plasma CVD
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 椎名 悟, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 (6,4)単層カーボンナノチューブのカイラリティ選択機構における気相中炭化水素前駆体の効果
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 X. He, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Effects of channel length on performance of transparent solar cell with monolayer WS <sub>2</sub>
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 M. Seo, T. Kitada, T. Kaneko, T. Otsuka, T. Kato
2. 発表標題 グラフェンナノリボンを用いたサイズ制御量子ドットの直接合成
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 N. Sato, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 ゆらぎ導入ナノパーからのグラフェンナノリボン制御合成
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 X. He, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Transparent Schottky type solar cell based on uniform WS <sub>2</sub> film
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤 俊顕, 金子 俊郎
2. 発表標題 高集積グラフェンナノリボンの合成と成長ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Plasma Synthesis of Integrated Graphene Nanoribbons and its Optoelectrical Applications
3. 学会等名 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Integrated Synthesis of Millions of Suspended Graphene Nanoribbons and its Non-Volatile Memory Applications
3. 学会等名 2020 Virtual MRS spring/fall meeting & exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kato
2. 発表標題 Growth dynamics of 2D materials
3. 学会等名 The 7th International Workshop on 2D Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 X. He , Y. Yamaguchi , T. Kaneko , T. Kato
2. 発表標題 Fabrication of Transparent Solar Cell with Atomically Thin Layered Materials
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ogura , H. Suzuki , T. Kaneko , T. Kato
2. 発表標題 Integrated synthesis of graphene nanoribbon-based field effect transistor with high on/off ratio
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Structural controlled synthesis and solar cell application of TMDs
3. 学会等名 3rd International Workshop on 2D Materials ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ogura , H. Suzuki , T. Kaneko , T. Kato
2. 発表標題 Performance improvement of graphene nanoribbon transistor with plasma CVD
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Shiina , T. Shima , B. Xu , T. Kaneko , T. Kato
2. 発表標題 Plasma CVD synthesis of (6,4) single-walled carbon nanotubes and its growth mechanism
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kato
2. 発表標題 グラフェンナノリボンの大規模集積化合成と応用
3. 学会等名 グラフェンコンソーシアム第20回研究講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. Qiang, T. Kameyama, C. Li, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Flow rate effects on layer-number-controlled synthesis of integrated WS <sub>2</sub>
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Seo, W. Okita, H. Suzuki, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Efficient fabrication of graphene nanoribbon quantum dot with advanced plasma CVD
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Shiina, T. Shima, B. Xu, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Plasma CVD synthesis of high purity (6,4) single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 T. Kaneyama, C. Li, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 In-situ Monitoring of Monolayer WS2 Growth
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 S. Shiina, T. Shima, B. Xu, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 The effect of gas phase species on chirality selectivity between (6, 4) and (6, 5) single-walled carbon nanotubes
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 X. He, Y. Yamaguchi, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Work function modulation of transparent electrode for fabrication of WS2-based highly transparent solar cell
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 T. Kato, H. Suzuki, T. Kaneko
2. 発表標題 Graphene nanoribbon electronics fabricated with advanced plasma processing
3. 学会等名 The 12th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 強 効銘, 亀山 智矢, 李 超, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 二次元シートの集積化合成と層数制御
3. 学会等名 第13回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬尾 瑞樹, 大北 若奈, 鈴木 弘朗, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 プラズマCVDによるグラフェンナノリボン量子ドットの形成
3. 学会等名 第13回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名 悟, 志摩 拓哉, 許 斌, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 (6, 4)単層カーボンナノチューブのプラズマCVD合成における気相効果
3. 学会等名 第13回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀山 智矢, 李 超, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測による単層WS <sub>2</sub> 合成物理因子の直接計測
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 N. Ogura, H. Suzuki, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Mechanism of persistent photo conductivity in functionalized graphene nanoribbons
3. 学会等名 RECENT PROGRESS IN GRAPHENE & 2D MATERIALS RESEARCH 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. He, Y. Yamaguchi, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Scalable fabrication of TMD-based highly-transparent solar cells
3. 学会等名 RECENT PROGRESS IN GRAPHENE & 2D MATERIALS RESEARCH 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 CVD growth of 1 million graphene nanoribbons on the device
3. 学会等名 The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and related 2D materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. He, Y. Yamaguchi, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Highly-transparent photovoltaic based on atomically thin 2D materials
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kato and T. Kaneko
2. 発表標題 Wafer scale fabrication and optoelectrical applications of suspended graphene nanoribbon arrays
3. 学会等名 The 11th International Conference on Advanced Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Seo, W. Okita, H. Hiroo, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Fabrication of graphene nanoribbon-based quantum device with Plasma CVD
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Shiina, T. Shima, B. Xu, T. Kaneko, T. Kato
2. 発表標題 Chirality selective growth of (6, 4) single-walled nanotubes by plasma CVD
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名 悟, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 高純度(6, 4)単層カーボンナノチューブ合成に向けた前駆体制御
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 小倉 土忠, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 伝導ギャップ制御に向けたホモ接合グラフェンナノリボンの合成
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 亀山 智矢, 金子 俊郎, 加藤 俊顕
2. 発表標題 その場観測により観測された単層WS <sub>2</sub> の高速成長
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

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T. Kato	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan European Networks Ltd	5. 総ページ数 232
3. 書名 SciTech Europa Quarterly	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 カーボンナノチューブ組成物、カーボンナノチューブ製造用の触媒、カーボンナノチューブの製造方法およびカーボンナノチューブ	発明者 加藤 俊顕, 金子 俊郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/035526	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 光電変換素子および光電変換デバイス	発明者 加藤 俊顕, 何 杏, 金子 俊郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-055704	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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	大塚 朋廣  (Otsuka Tomohiro)  (50588019)	東北大学・材料科学高等研究所・准教授    (11301)	
研究分担者	澁田 靖  (Shibuta Yasushi)  (90401124)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授    (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