

令和 3 年 8 月 16 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01832

研究課題名(和文) 一次元ヘテロエピタキシーによる原子細線の創成

研究課題名(英文) Fabrication of atomic wires by 1D heteroepitaxy

研究代表者

宮田 耕充 (Miyata, Yasumitsu)

東京都立大学・理学研究科・准教授

研究者番号：80547555

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)：本研究課題では、独自に開発してきた「一次元ヘテロエピタキシャル成長」を利用し、新しい構造・機能を持つ「埋め込み原子細線」の作製を目指した研究を推進してきた。具体的には、二硫化モリブデン等の二次元物質の端を成長起点として別の二次元物質を成長させる。有機金属原料を利用した化学気相成長の技術開発を進め、最終的には3nm程度の原子細線や複数の細線が配列した構造体の形成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、幅が精密に制御された細線構造の新たな合成手法が確立し、このような原子細線における量子効果や一元輸送現象の物理、そして新規な構造・特徴を持つ光電子デバイスなど基礎・応用の両面で新たな展開が可能となる。また、原子細線の配列構造を利用することで、細線と二次元物質、もしくは細線同士の近接相互作用による新しい機能性材料の開拓が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a fabrication process of atomic wires embedded in 2D materials by using 1D heteroepitaxial growth. In this growth process, 2D materials such as molybdenum disulfide are grown from the edges of another 2D materials by using metal-organic chemical vapor deposition. By improving the growth conditions, we have succeeded in the preparation of atomic wires with a width of 3 nm and arrays of such atomic wires.

研究分野：物質科学

キーワード：原子細線 遷移金属ダイカルコゲナイド 化学気相成長

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。

1. 研究開始当初の背景

従来の三次元固体物質における異種物質間の接合(図1左)は、新規量子構造の実現、二次元電子系の物理、および高移動度トランジスタや光電変換素子などの様々なデバイス応用の観点から膨大な研究がなされてきた。一般に、このような異種物質の複合構造(ヘテロ構造)は、ある物質の表面に、別の物質を成長させることで作製される。特に、成長速度を精密に制御することで、原子厚の薄膜厚みを持つ薄膜を基板上に作製することが可能であり、量子井戸等の新規量子構造の実現に繋がってきた。

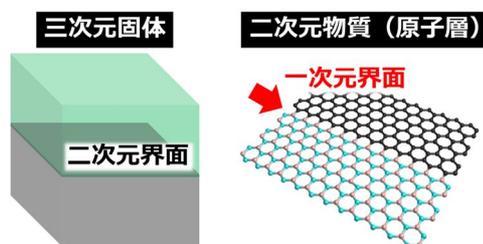


図1. 三次元固体および二次元物質における接合構造(ヘテロ構造)、二次元物質の接合界面は一次元的になる。

一方、三次元固体とは異なる物質群として、グラフェンに代表される様々な二次元物質が発見され、新たな低次元構造を活かした物性研究とデバイス応用が展開されている。二次元物質系においても、二次元物質の「端」を起点として別の二次元物質を成長させることができれば、同様に「二次元面内のヘテロ構造」や「端に平行に原子細線」が形成されると期待できる。この手法では、二次元物質に埋め込まれた原子細線や原子細線が配列した超格子(図2)などが作製でき、一元電子系の物理や新規な構造・特徴を持つ光電子デバイスへと新たな物質科学が展開できる。われわれのグループでは、このような二次元物質の端を起点とした成長の研究に取り組み、化学気相成長(CVD)法を用いることで単層グラフェンや窒化ホウ素、また遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)系での面内ヘテロ構造を実現してきた。

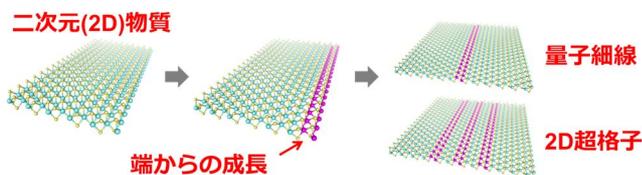


図2. 二次元物質の端から別の二次元物質を成長させ、量子細線や超格子を作製するプロセスの模式図。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで開発してきた成長技術をさらに発展させ、二次元物質を利用した新奇な原子細線の合成技術を確認し、その一次元構造に由来した特異な物性と機能を開拓へと繋げることである。

特に、単層 TMDC の成長速度の精密制御により、幅が 10nm 以下の原子細線の形成を目指す。このような細線を利用し、電子や励起子の一次元閉じ込め効果とその輸送特性の制御、光吸収/発光増強などの機能、二次元/一次元接合による複合機能の探索へと繋げていく。

3. 研究の方法

有機金属・カルコゲン原料を用いた化学気相成長(MOCVD)を利用して、二次元カルコゲナイドの原子細線を作製した。具体例としては、二硫化タングステン(WS_2)の結晶を基板上に成長させ、その結晶の端を基点に、二硫化モリブデン(MoS_2)などの別の材料を原料切り替えにより成長させる。原料供給の制御では、窒素ガスのパブリック速度、原料の温度、原料切り替え間隔、成長温度、成長補助剤の種類などをパラメータとした成長条件の検討を行った。また、専用 MOCVD 装置を導入し効率的に実験を進めた。試料作製では、気相成長における供給原料を複数回切り替えることにより $MoS_2/WS_2/MoS_2/WS_2...$ 等の原子細線を含む複合構造を作製した。得られた原子細線の構造は分光イメージングや走査プローブ顕微鏡、電子顕微鏡により評価し、合成条件へのフィードバックを行った。

4. 研究成果

原料として室温でも気体として供給可能な $(t-BuN)=_2W(NMe_2)_2$ 、 $(t-BuN)=_2Mo(NMe_2)_2$ 、 $(t-C_4H_9)_2S_2$ 、 $(C_2H_5)_2Se_2$ を利用し、この原料を用いた化学気相成長の条件検討を進めてきた。特に NaCl や NaOH 等のアルカリ金属化合物を成長補助剤として併用することで、 MoS_2 、 $MoSe_2$ 、 WS_2 、 WSe_2 の 4 種類の単層 TMDC を高い結晶性を有し、最大 100 μm 程度のサイズの単結晶を合成することに成功した。シリコン基板上に成長させた 4 種類の単層試料は、直接バンドギャップに由来する強い発光を示すことを確認した。また、グラファイト基板上に合成した試料については、走査トンネル顕微鏡観察と発光ピークの線幅を比較することで、高い結晶性を有することを確認した。

次に、成長中に供給する原料を切り替えることで MoS_2 、 $MoSe_2$ 、 WS_2 、 WSe_2 を組み合わせた合計 6 種類の面内ヘテロ構造に取り組んできた。発光やラマン強度マッピングを行うことで、作製した試料の面内での組成分布について評価したところ、最初に成長させた TMDC の周囲に、二番目

に原料を流した TMDC が形成していることが確認できた。これは、TMDC の端を起点として別の TMDC が成長できたことを意味する。また、最初に合成した TMDC については、発光とラマンともに単一の試料と同様のスペクトルを示しており、ヘテロ構造の作製中に元素置換や欠陥の導入などの影響をほぼ受けてないといえる。走査型トンネル顕微鏡による観察では、接合界面が原子レベルで急峻に組成が変化していること、直線的な界面が形成していることなどが確認された。このような界面の局所状態密度を走査型トンネル分光により調べたところ、理論的な予測に一致するように電子状態が変化していることが明らかとなった。

この手法により、さらに WS_2 から、 MoS_2 、 WS_2 の順番で成長させ、 $WS_2/MoS_2/WS_2$ ダブルヘテロ接合の作製にも成功した(図 3)。同様のアプローチで $MoSe_2/MoS_2/MoSe_2/MoS_2/MoSe_2$ などのヘテロ構造も実証できた。また、成長速度を 0.3nm/min 程度にすることで、3nm 程度の幅を持つ $MoSe_2$ などの原子細線や、異なる組成の原子細線の接合も可能となってきた。これらの構造は、電子顕微鏡により原子レベルで明瞭に観察されている。また、成長条件によっては、最初に成長させた TMDC の上に別の TMDC を成長させた積層型のヘテロ構造の形成も可能である。異なる格子定数を持つ TMDC を積層させ、そのモアレポテンシャルについても走査型トンネル顕微鏡で観察された。

当初の予定通り、二次元物質に埋め込まれた微細な細線構造とその配列制御作製に関する基盤技術が整ってきた状況といえる。将来的には、二次元材料における 1 次元の閉じ込め効果や周期ポテンシャルの制御を利用した新たな機能開拓が期待される。また、本研究を通じて得られた高品質試料の提供や成長技術を生かし、多くの共同研究を推進することができた。引き続き、二次元物質を利用した様々な基礎・応用研究へと貢献していく。

< 引用文献 >

[1] "Continuous Heteroepitaxy of Two-Dimensional Heterostructures Based on Layered Chalcogenides", Y. Kobayashi, S. Yoshida, M. Maruyama, H. Mogi, K. Murase, Y. Maniwa, O. Takeuchi, S. Okada, H. Shigekawa, Y. Miyata, ACS Nano, 13 (2019) 7527-7535.

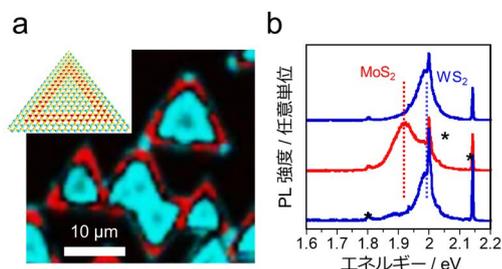


図 3. (a)合成した $WS_2/MoS_2/WS_2$ ヘテロ構造の結晶の発光強度マップと構造モデル。青が WS_2 、赤が MoS_2 の発光強度に対応。(b)結晶の異なる場所における発光スペクトル。青線が中央と外側の WS_2 、赤線が WS_2 に挟まれた MoS_2 の発光を示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Lim Hong En, Irisawa Toshifumi, Okada Naoya, Okada Mitsuhiro, Endo Takahiko, Nakanishi Yusuke, Maniwa Yutaka, Miyata Yasumitsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Monolayer MoS2 growth at the Au-SiO2 interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 19700 ~ 19704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR05119H	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 Kobayashi Yu, Yoshida Shoji, Maruyama Mina, Mogi Hiroyuki, Murase Kota, Maniwa Yutaka, Takeuchi Osamu, Okada Susumu, Shigekawa Hidemi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Continuous Heteroepitaxy of Two-Dimensional Heterostructures Based on Layered Chalcogenides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 7527 ~ 7535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.8b07991	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 Kojima Kana, Lim Hong En, Liu Zheng, Zhang Wenjin, Saito Tetsuki, Nakanishi Yusuke, Endo Takahiko, Kobayashi Yu, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Matsuda Kazunari, Maniwa Yutaka, Miyauchi Yuhei, Miyata Yasumitsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Restoring the intrinsic optical properties of CVD-grown MoS2 monolayers and their heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 12798 ~ 12803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR01481K	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 Yoshikawa Naotaka, Nagai Kohei, Uchida Kento, Takaguchi Yuhei, Sasaki Shogo, Miyata Yasumitsu, Tanaka Koichiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Interband resonant high-harmonic generation by valley polarized electron hole pairs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-019-11697-6	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 Yomogida Yohei, Miyata Yasumitsu, Yanagi Kazuhiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Transistor properties of relatively small-diameter tungsten disulfide nanotubes obtained by sulfurization of solution-synthesized tungsten oxide nanowires	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 085001 ~ 085001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab2acb	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. G. Ji, P. S. Fernandez, D. Yoshimura, M. Maruyama, T. Endo, Y. Miyata, S. Okada, H. Ago	4. 巻 31
2. 論文標題 Chemically Tuned p and n Type WSe ₂ Monolayers with High Carrier Mobility for Advanced Electronics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1903613 ~ 1903613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201903613	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 Takahashi Yasufumi, Kobayashi Yu, Wang Ziqian, Ito Yoshikazu, Ota Masato, Ida Hiroki, Kumatani Akichika, Miyazawa Keisuke, Fujita Takeshi, Shiku Hitoshi, Korchev Yuri E., Miyata Yasumitsu, Fukuma Takeshi, Chen Mingwei, Matsue Tomokazu	4. 巻 59
2. 論文標題 High Resolution Electrochemical Mapping of the Hydrogen Evolution Reaction on Transition Metal Dichalcogenide Nanosheets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 3601 ~ 3608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201912863	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 Pu Jiang, Matsuki Keichiro, Chu Leiqiang, Kobayashi Yu, Sasaki Shogo, Miyata Yasumitsu, Eda Goki, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Exciton Polarization and Renormalization Effect for Optical Modulation in Monolayer Semiconductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 9218 ~ 9226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b03563	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 Irisawa T., Okada N., Mizubayashi W., Mori T., Chang W.-H., Koga K., Ando A., Endo K., Sasaki S., Endo T., Miyata Y.	4. 巻 6
2. 論文標題 CVD Growth Technologies of Layered MX2 Materials for Real LSI Applications? Position and Growth Direction Control and Gas Source Synthesis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Journal of the Electron Devices Society	6. 最初と最後の頁 1159 ~ 1163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JEDS.2018.2870893	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 Miyaura Kenshi, Miyata Yasumitsu, Thendie Boanerges, Yanagi Kazuhiro, Kitaura Ryo, Yamamoto Yuta, Arai Shigeo, Kataura Hiromichi, Shinohara Hisanori	4. 巻 8
2. 論文標題 Extended-conjugation -electron systems in carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8098-1 ~ 6,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-26379-4	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 Mogi Hiroyuki, Wang Zi-Han, Bamba Takafumi, Takaguchi Yuhei, Endo Takahiko, Yoshida Shoji, Taninaka Atsushi, Oigawa Haruhiro, Miyata Yasumitsu, Takeuchi Osamu, Shigekawa Hidemi	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of laser-combined scanning multiprobe spectroscopy and application to analysis of WSe2/MoSe2 in-plane heterostructure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 045002 ~ 045002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab09b9	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 Wang Xiaofan, Shinokita Keisuke, Lim Hong En, Mohamed Nur Baizura, Miyauchi Yuhei, Cuong Nguyen Thanh, Okada Susumu, Matsuda Kazunari	4. 巻 29
2. 論文標題 Direct and Indirect Exciton Dynamics in Few Layered ReS ₂ Revealed by Photoluminescence and Pump Probe Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1806169 ~ 1806169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201806169	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 Lim Hong En, Nakanishi Yusuke, Liu Zheng, Pu Jiang, Maruyama Mina, Endo Takahiko, Ando Chisato, Shimizu Hiroshi, Yanagi Kazuhiro, Okada Susumu, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 21
2. 論文標題 Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 243 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c03456	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 Nagai Kohei, Uchida Kento, Yoshikawa Naotaka, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu, Tanaka Koichiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Dynamical symmetry of strongly light-driven electronic system in crystalline solids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 137-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-020-00399-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 Nishidome Hiroyuki, Nagai Kohei, Uchida Kento, Ichinose Yota, Yomogida Yohei, Miyata Yasumitsu, Tanaka Koichiro, Yanagi Kazuhiro	4. 巻 20
2. 論文標題 Control of High-Harmonic Generation by Tuning the Electronic Structure and Carrier Injection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 6215 ~ 6221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c02717	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 Kanda Naoyuki, Nakanishi Yusuke, Liu Dan, Liu Zheng, Inoue Tsukasa, Miyata Yasumitsu, Tom?nek David, Shinohara Hisanori	4. 巻 12
2. 論文標題 Efficient growth and characterization of one-dimensional transition metal tellurides inside carbon nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 17185 ~ 17190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR03129A	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 Yomogida Yohei, Kainuma Yoshiki, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu, Yanagi Kazuhiro	4. 巻 116
2. 論文標題 Synthesis and ambipolar transistor properties of tungsten diselenide nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 203106 ~ 203106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0005314	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 Irisawa Toshifumi, Okada Naoya, Chang Wen-Hsin, Okada Mitsuhiro, Mori Takahiro, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu	4. 巻 59
2. 論文標題 CVD grown bilayer WSe ₂ /MoSe ₂ heterostructures for high performance tunnel transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGH05 ~ SGGH05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab650d	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 Xiang Rong, et al.	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 Ogura Hiroto, Kaneda Masahiko, Nakanishi Yusuke, Nonoguchi Yoshiyuki, Pu Jiang, Ohfuchi Mari, Irisawa Toshifumi, Lim Hong En, Endo Takahiko, Yanagi Kazuhiro, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Air-stable and efficient electron doping of monolayer MoS ₂ by salt-crown ether treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 8784 ~ 8789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NR01279G	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 Takahashi Togo, Ando Chisato, Saito Mitsufumi, Miyata Yasumitsu, Nakanishi Yusuke, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 5
2. 論文標題 Three-dimensional networks of superconducting NbSe ₂ flakes with nearly isotropic large upper critical field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 31-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-021-00210-7	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 -

[学会発表] 計19件(うち招待講演 19件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 宮田耕充
2. 発表標題 原子層ヘテロ構造の合成と機能開拓
3. 学会等名 ナノ構造物性研究室(岡田・丸山研究室)セミナー(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 MoS ₂ Growth at Metal-Insulator Interface
3. 学会等名 蔵王19研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田耕充
2. 発表標題 原子層ヘテロ構造の成長と評価
3. 学会等名 放射光学会若手研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and characterization of two-dimensional heterostructures based on layered chalcogenides
3. 学会等名 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies(PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and device applications of transition-metal-dichalcogenide in-plane heterostructures
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 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and characterization of in-plane heterostructures based on layered chalcogenides
3. 学会等名 1&2DM International Conference 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 CVD growth of in-plane heterostructures based on two-dimensional materials
3. 学会等名 第267回GMSI公開セミナー / 第90回CIAISセミナー / 第12回iFSセミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 原子層ヘテロ構造の化学気相成長
3. 学会等名 ナノカーボンワークショップ2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 原子層ヘテロ構造の成長と機能開拓
3. 学会等名 ニューダイヤモンドフォーラム平成30年度第2回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 CVD growth of in-plane heterostructures based on two-dimensional materials
3. 学会等名 AsiaNANO 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth of in-plane heterostructures based on layered chalcogenides
3. 学会等名 3rd EU-JP Flagship Workshop on Graphene & 2DMs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 熱CVD法による2次元物質および面内ヘテロ構造の成長
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth of in-plane heterostructures based on 2D materials
3. 学会等名 One-Day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイド原子層の成長と評価
3. 学会等名 グラフェンコンソーシアム第19回研究講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 面内原子層ヘテロ構造の成長と評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Kobayash, Shoji Yoshida, Mina Maruyama, Kota Murase, Yutaka Maniwa, Osamu Takeuchi, Susumu Okada, Hidemi Shigekawa, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and characterization of in-plane heterostructures based on two-dimensional materials
3. 学会等名 3rd Electron Devices Technology and Manufacturing (EDTM) Conference 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Semiconductor heterojunctions based on 2D materials
3. 学会等名 3rd JST/CREST/2D Workshop in Singapore, Mar. 15, 2019, Singapore (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth of transition-metal-dichalcogenide in-plane heterostructures
3. 学会等名 SSDM2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and device applications of in-plane heterostructures based on layered chalcogenides
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

〔図書〕 計2件

1. 著者名 宮田耕充	4. 発行年 2019年
2. 出版社 公益社団法人 日本表面真空学会	5. 総ページ数 6
3. 書名 Vacuum and Surface Science	

1. 著者名 宮田耕充	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 27
3. 書名 グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://www.comp.tmu.ac.jp/miyata/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	劉 崢 (Liu Zheng) (80333904)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・上級主任研究員 (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
---------	---------