

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22104

研究課題名（和文）2次元酸化物ナノシートのボトムアップ合成と臨界物性の開拓

研究課題名（英文）Bottom-up synthesis of 2D oxide nanosheets and exploration of critical properties

研究代表者

長田 実 (Osada, Minoru)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：10312258

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：2次元材料（ナノシート）は、従来のバルクとは異なる機能の発現が期待され、エレクトロニクス、環境・エネルギーなどへの応用が期待されている。しかしながら、従来のナノシートの合成には、層状化合物の剥離法が利用されており、応用上重要である非層状無機化合物には適用できず、材料、機能のライブラリーは限定されていた。本研究では、最近開発した鋳型合成法を活用し、非層状酸化物のナノシートのボトムアップ合成に挑戦した。界面活性剤を利用した鋳型合成法により、層数、サイズ、形態を制御したナノシート（ZnO、CeO₂、BaTiO₃など）の合成を達成した。さらに、精密合成技術を広く、酸化物、カルコゲナイドに拡張した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2次元材料（ナノシート）は、グラフェンの報告以降、材料科学、エレクトロニクスにおける重要な研究ターゲットとして注目されている。本研究は、新しい合成戦略により、従来合成が困難な酸化物ナノシートの精密合成を実現し、ありふれた酸化物セラミックスをナノシート技術によってグラフェンをも凌駕する新しいハイテク材料へ変貌させようという、挑戦的なテーマである。本研究を通じて、2次元材料に新しい研究技術の潮流を作り出せば、新しい材料フロンティア、さらには新しいエレクトロニクスを切り拓くパイオニア的な技術に発展するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Two-dimensional (2D) nanosheets have been emerging as important new materials due to their unique properties. The exfoliation technique is a typical approach for producing 2D nanosheets from layered bulk crystals, but cannot be applied to non-layered inorganic compounds. In this study, we aimed the bottom-up synthesis of non-layered oxide nanosheets. We have developed new template synthesis methods using a surfactant and achieved the synthesis of nanosheets (ZnO, CeO₂, BaTiO₃, etc.) with controlled thickness, size, and morphology. We also expanded our synthesis method to oxides and chalcogenides.

研究分野：ナノ材料化学

キーワード：2次元材料 酸化物ナノシート 非層状酸化物 ボトムアップ合成 鋳型合成法

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

原子数個の厚みを有する2次元ナノシートは、グラフェンの報告以降、材料科学の重要な研究ターゲットとして注目されており、精力的な研究が世界中で行われている [1]。2次元ナノシートは、高電子・イオン移動度、柔軟性、透明性、高耐熱など、従来のバルク材料・薄膜とは異なる機能の発現が期待され、次世代のエレクトロニクス、環境・エネルギー分野での応用が期待される。しかしながら、従来のナノシートの合成には、層状化合物の剥離というトップダウン手法が利用されており、多彩な機能を有し、応用上重要である非層状無機化合物には適用できず、得られる材料、機能のライブラリーは限定されていた。

2. 研究の目的

本研究では、超伝導性、強誘電性、磁性など機能の宝庫と言える酸化物をターゲットに、2次元酸化物ナノシートのボトムアップ合成に挑戦する (図1)。研究代表者らが最近開発した「2次元ナノ界面鑄型合成法」を活用し、非層状酸化物の単層ナノシートの組成、構造を設計し、精密合成により具現化するテラメイド合成技術を確立する。特に、2次元電子状態による高伝導性や強誘電性の発現が期待される ZnO、BaTiO₃ などをモデルケースに、非層状酸化物のボトムアップ合成を実現し、酸化物の臨界膜厚で発現する特異構造、物性の発見やグラフェンを凌駕する新機能を開拓する。以上、2次元酸化物ナノシートの完全合成と機能開拓を通じ、グラフェンを凌駕する日本発の新規2次元材料技術を確立し、ナノ材料分野の新領域の開拓、さらには革新的ナノエレクトロニクスの創成に貢献する。

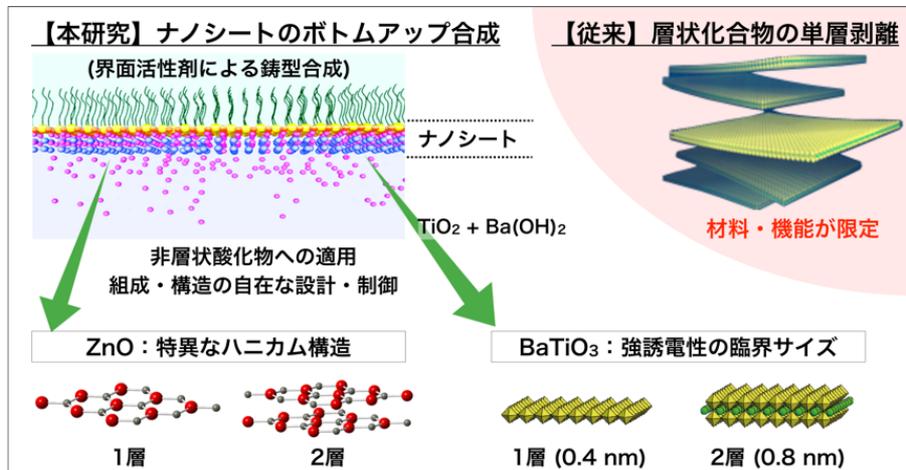


図1. (研究構想図) 2次元酸化物ナノシートのボトムアップ合成と臨界物性の開拓.

3. 研究の方法

本研究目的の達成のために、以下の3課題を設定した。

- (課題1) 第一原理計算による酸化物ナノシートの構造評価と材料設計
- (課題2) 2次元ナノ界面鑄型合成法による酸化物ナノシートのボトムアップ合成
- (課題3) 酸化物ナノシートの特性評価と機能開拓

4. 研究成果

4-1. 第一原理計算による酸化物ナノシートの構造評価と材料設計：

原子数個の厚みを有するナノシートでは、表面構造緩和により従来のバルク材料とは異なる結晶構造が誘起されるため、構造安定性の評価は合成条件、物性制御の重要な要因となる。本課題では、自発分極、極性を有する酸化物ナノシートを対象に、第一原理計算により層数変化に伴う結晶構造の安定性や電子バンド構造の影響について検討を行った。

予備的な検討から特異な構造安定性が明らかになっている ZnO ナノシートに注目し、層数変化に伴う結晶構造とバンド構造の影響について検討した(図2)。第一原理計算により構造安定性について検討したところ、単層ナノシートにおいては Zn と O がフラットに配置し、グラフェンに類似した平面状ハニカム構造が安定となることを見出した。この特異なハニカム構造は4層まで安定であり、この範囲では層数増加によりバンドギャップは減少した。他方、5層以上の層数のナノシートにおいては、結晶構造とバンド構造ともに大きな変化が見られ、内部ではバルクに近いウルツ構造、表面ではフラットな構造が安定となる傾向がみられた。また、5層以降ではバンドギャップがつぶれ、金属的な電子状態となることを明らかにした。以上の研究を通し、酸化物ナノシートがグラフェンのネックであった2次元伝導物性とバンド構造の同時制御を可能とする新しい原子膜技術として重要な研究対象となることを明らかにした。特に、ZnO で見出した特異なハニカム構造は興味深いものであり、ありふれた酸化物でも、ナノシート化により特異な2次元構造、電子状態を誘起できる可能性を示唆するものである。

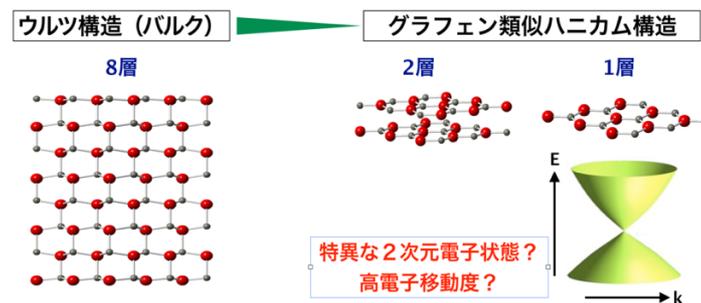


図2. 第一原理計算による ZnO ナノシートの構造安定性の評価。

4-2. 2次元ナノ界面鋳型合成法による酸化物ナノシートのボトムアップ合成：

研究代表者らが最近開発した「2次元ナノ界面鋳型合成法」を活用し、非層状酸化物ナノシートのボトムアップ合成に挑戦した。課題1で特異な構造安定性が示唆された ZnO や、BaTiO₃などをモデルケースに合成実験を行った。

ZnO の合成は、界面活性剤を利用した気-液界面合成法により行った。硝酸亜鉛六水和物とヘキサメチレンテトラミンを含む水溶液上に、オクタデシル硫酸ナトリウム (SOS) を分散させたクロロホルム懸濁液を滴下し、クロロホルムを揮発させて SOS 膜の展開した界面原子層を形成した。そして界面原子層を基板に転写し、60℃で2時間加熱することで ZnO ナノシートを得た(図3)。AFM 観察より、厚さ 1.8 nm、横サイズ 20 μm 程度の三角形のナノシートを観察した。TEM 観察においてもシート状の物質が観察され、SAED パターンから、ウルツ鋳型構造の ZnO と同定された。さらに、反応温度、時間の制御により、サイズ、形状を精密制御が可能であることを確認しており、以上の結果から、ZnO ナノシートの合成に成功したと言える。合成したナノシートはウルツ鋳型構造の5~6原子層に相当し、平

面状ハニカム構造の合成は確認されなかった。現在、合成条件の検討も行い、平面状ハニカム構造の合成を検討している。

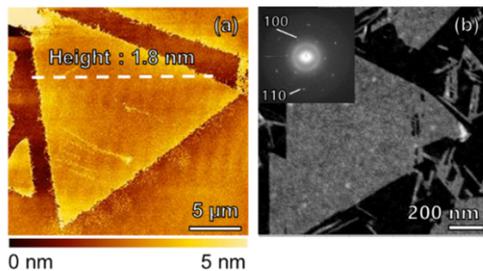


図3. ZnO ナノシートのAFM像(a)とSTEM像(b).

他方、BaTiO₃などの複合酸化物については、Ti_{1.8}O₂ ナノシートをハードテンプレートとした鋳型合成法を利用した。この手法では、厚さ1 nmのTi_{1.8}O₂ ナノシートおよびその積層膜を利用することで、酸素八面体1個単位(0.4 nm)での原子層制御が可能であり、Ti_{1.8}O₂ ナノシートとBa(OH)₂との表面反応により、ナノシートの横サイズ、形状を維持したトポタクティック反応を誘起することが可能となった。合成したナノシートに対して、X線回折、AFM、TEMなどの各種構造解析を行い、BaTiO₃ ナノシートの合成を確認した。このハードテンプレートは汎用的であり、複水酸化物(LDH) ナノシートを鋳型とすることで、メソポーラスシリカの合成にも成功している(図4) [2]。さらに、ナノシートの精密合成技術を広く酸化物系、カルコゲナイド系に拡張することで、CeO₂ [3]、面方位を制御したMoS₂ ナノリボン [4]、ウェハースケールMoS₂ [5]などの合成にも成功した。

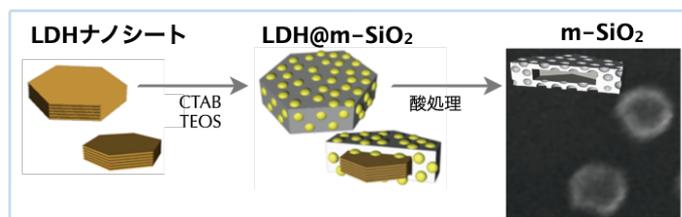


図4. LDHを鋳型としたメソポーラスシリカナノシートの合成.

4-3. 酸化物ナノシートの特性評価と機能開拓

合成したナノシートに対し、光電子分光による電子構造評価、走査型プローブ顕微鏡による物性評価に加え、ナノシートに電極を配した単一ナノシートデバイスを作製し、数 nm の臨界薄膜での特性評価を行った。これらの特性評価の結果、BaTiO₃ のサイズ効果フリー強誘電性、CeO₂ の高いイオン伝導性 [3]、メソポーラスシリカの超低誘電率 [2] など、ナノシート由来の特異物性を確認した。

また、形状を制御したMoS₂ ナノシートを対象に、Ag 光析出による光触媒活性の層数依存性の可視化を試みた [6]。その結果、光触媒活性は層数に対して連続的に変化するのではなく、単層のみが光触媒活性を示すことを見出した。さらに、顕微分析により、単層における光触媒活性化は基板界面との相互作用による表面ポテンシャル変調によりもたらされていることが示された。従来、光触媒活性の向上には、結晶サイズ・形状、バンド構造、局所構造の制御が検討されてきたが、極限薄さの二次元材料では界面構造が触媒活性に対する決定的要因となることが明らかとなった。

さらに、ナノシートの薄膜応用や新しい製膜技術の開発を進め、2次元ナノシートの産

業化のボトルネックとなっている高品質・大面積薄膜の製造を簡便な液相プロセスで実現する新技術を開発した [7]。また、ナノシート技術では、異なる機能のナノシートをブロックにして人工超格子を作製することで、ナノからメソスケールで次元、構造、階層、空間を設計・制御した高次機能材料を構築することが可能となる。こうした特徴を活用し、ナノシートの超格子集積技術により高容量ナノシートコンデンサ [8]、人工強誘電体 [9,10]、トリオン発光デバイス[11]、高性能ペロブスカイト太陽電池 [12, 13]などの開発に成功した。

参考文献

- [1] 長田 実：“酸化物フラットランド”，化学と工業 **72**, 341–343 (2019).
- [2] Y. Shi, J. Wang, E. Yamamoto, M. Osada: “Hard-template synthesis of hollow mesoporous silica nanoplates using layered double hydroxide”, *Chem. Lett.* **49**, 1078–1080 (2020).
- [3] 山本瑛祐, 長田 実：薄膜の製造方法及び薄膜，特願2020-036782.
- [4] S. Li, Y-C Lin, W. Zhao, J. Wu, Z. Wang, Z. Hu, Y. Shen, D-M. Tang, J. Wang, Q. Zhang, H. Zhu, L. Chu, W. Zhao, C. Liu, Z. Sun, T. Taniguchi, M. Osada, W. Chen, Q-H. Xu, A. T. Wee, K. Suenaga, F. Ding, G. Eda: “Vapor-liquid-solid growth of monolayer MoS₂ nanoribbons”, *Nat. Mater.* **17**, 535–542 (2018).
- [5] S. Li, Y-C. Lin, X-Y. Liu, Z. Hu, J. Wu, H. Nakajima, S. Liu, T. Okazaki, W. Chen, T. Minari, Y. Sakuma, K. Tsukagoshi, K. Suenaga, T. Taniguchi, M. Osada: “Wafer-scale and deterministic patterned growth of monolayer MoS₂ via vapor-liquid-solid method”, *Nanoscale* **11**, 16122 (2019).
- [6] T. Taniguchi, L. Nurdiwijayanto, S. Li, H-E. Lim, Y. Miyata, X. Lu, R. Ma, D-M. Tang, S. Ueda, K. Tsukagoshi, T. Sasaki, M. Osada: “On/off boundary of photocatalytic activity between single- and bilayer MoS₂”, *ACS Nano* **14**, 6663–6672 (2020).
- [7] Y. Shi, M. Osada, Y. Ebina, T. Sasaki: “Single droplet assembly for 2D nanosheet tiling”, *ACS Nano* **14**, 15216–15226 (2020).
- [8] M-S. Khan, H-J. Kim, Y-H. Kim, Y. Ebina, W. Sugimoto, T. Sasaki, M. Osada: “Scalable design of two-dimensional oxide nanosheets for construction of ultrathin multilayer nanocapacitors”, *Small* **16**, 2003485 (2020).
- [9] M. Osada, T. Sasaki: “The rise of 2D dielectrics/ferroelectrics”, *APL Mater.* **7**, 120902 (2019).
- [10] M.-S. Khan, M. Osada, L. Dong, Y.-H. Kim, Y. Ebina, T. Sasaki, “Rational assembly of two-dimensional perovskite nanosheets as building blocks for new ferroelectrics”, *ACS Appl. Mater. Interface*, **13**, 1783–1790 (2020).
- [11] T. Taniguchi, S. Li, L. Nurdiwijayanto, Y. Kobayashi, T. Saito, Y. Miyata, S. Obata, K. Saiki, H. Yokoi, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Tsukagoshi, Y. Ebina, T. Sasaki, M. Osada: “Tunable chemical coupling in two-dimensional van der Waals-electrostatic heterostructures”, *ACS Nano*, **13**, 11214–11223 (2019).
- [12] T-P. Chen, C-W. Lin, S-S. Li, Y-H. Tsai, C-Y. Wen, W. Lin, F-M. Hsiao, Y-P. Chiu, K. Tsukagoshi, M. Osada, T. Sasaki, C.-W. Chen: “Self-assembly atomic stacking transport layer of two-dimensional titania for perovskite solar cells”, *Adv. Energy Mater.* **8**, 1701722 (2018).
- [13] A-P. Thilakan, J-X. Li, T-P. Chen, S-S. Li, C-W. Chen, M. Osada, K. Tsukagoshi, T. Sasaki, A. Yabushita, Wu K-H. Wu, C-W. Luo: “Origin of extended UV stability of 2D atomic layer titania-based perovskite solar cells unveiled by ultrafast spectroscopy”, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **11**, 21473–21480 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Taniguchi, L. Nurdiwijayanto, S. Li, H-E. Lim, Y. Miyata, X. Lu, R. Ma, D-M. Tang, S. Ueda, K. Tsukagoshi, T. Sasaki, M. Osada	4. 巻 14
2. 論文標題 On/off boundary of photocatalytic activity between single- and bilayer MoS ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 6663-6672
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsnano.9b09253	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. Shi, J. Wang, E. Yamamoto, M. Osada	4. 巻 49
2. 論文標題 Hard-template synthesis of hollow mesoporous silica nanoplates using layered double hydroxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1078-1080
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl.200387	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 M-S. Khan, H-J. Kim, Y-H. Kim, Y. Ebina, W. Sugimoto, T. Sasaki, M. Osada	4. 巻 15
2. 論文標題 Scalable design of two-dimensional oxide nanosheets for construction of ultrathin multilayer nanocapacitors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2003485
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/smll.202003485	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 Y. Shi, M. Osada, Y. Ebina, T. Sasaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Single droplet assembly for two-dimensional nanosheet tiling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 15216-15226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsnano.0c05434	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 M.-S. Khan, M. Osada, L. Dong, Y.-H. Kim, Y. Ebina, T. Sasaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Rational assembly of two-dimensional perovskite nanosheets as building blocks for new ferroelectrics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interface	6. 最初と最後の頁 1783-1790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c16967	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 T. Taniguchi, K-C. Wong, L. Nurdiwijayanto, K. Hatakeyama, K. Awaya, S. Ida, K. Koiumuma, S. Ueda, M. Osada, H. Yokoi	4. 巻 177
2. 論文標題 Reversible hydrogenation and irreversible epoxidation induced by graphene oxide electrolysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 26-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.02.057	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-H. Kim, A. Mirzaei, M. Osada, H-W. Kim, S-S. Kim	4. 巻 329
2. 論文標題 Hydrogen sensing characteristics of Pd-decorated ultrathin ZnO nanosheets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B	6. 最初と最後の頁 129222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2020.129222	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 Y. Shi, E. Yamamoto, M. Kobayashi, M. Osada	4. 巻 129
2. 論文標題 Facile titania nanocoating using single droplet assembly of 2D nanosheets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Ceram. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.129.P7-1	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 長田 実	4. 巻 55
2. 論文標題 2次元ナノシートの形態制御と機能材料への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 390-394
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 長田 実	4. 巻 55
2. 論文標題 無機ナノシートを利用した室温セラミックスコーティング	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 741-745
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 長田 実	4. 巻 40
2. 論文標題 無機ナノシートの精密集積と電子デバイスへの応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 15-21
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 長田 実	4. 巻 69
2. 論文標題 焼かずに機能性セラミックスをつくる	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学と教育	6. 最初と最後の頁 24-27
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 Anusha Puliparambil Thilakan, Jia-Xing Li, Tzu-Pei Chen, Shao-Sian Li, Chun-Wei Chen, Minoru Osada, Kazuhito Tsukagoshi, Takayoshi Sasaki, Atsushi Yabushita, Kaung-Hsiung Wu, Chih-Wei Luo	4. 巻 11
2. 論文標題 Origin of extended UV stability of 2D atomic layer titania-based perovskite solar cells unveiled by ultrafast spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interface	6. 最初と最後の頁 21473-21480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b02434	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 S. Li, Y-C. Lin, X-Y. Liu, Z. Hu, J. Wu, H. Nakajima, S. Liu, T. Okazaki, W. Chen, T. Minari, Y. Sakuma, K. Tsukagoshi, K. Suenaga, T. Taniguchi, M. Osada	4. 巻 11
2. 論文標題 Wafer-scale and deterministic patterned growth of monolayer MoS2 via vapor-liquid-solid method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 16122-16129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9nr04612g	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 T. Taniguchi, S. Li, L. Nurdiwijayanto, Y. Kobayashi, T. Saito, Y. Miyata, S. Obata, K. Saiki, H. Yokoi, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Tsukagoshi, Y. Ebina, T. Sasaki, M. Osada	4. 巻 13
2. 論文標題 Tunable chemical coupling in two-dimensional van der Waals electrostatic heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 11214-11223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b04256	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 Minoru Osada, Takayoshi Sasaki	4. 巻 7
2. 論文標題 The rise of 2D dielectrics/ferroelectrics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 120902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129447	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 長田 実	4. 巻 48
2. 論文標題 酸化ナノシートの液相合成と機能材料への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ファインケミカル	6. 最初と最後の頁 28-33
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46件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Minoru Osada
2. 発表標題 Hierarchical self-assembly of 2D inorganic nanosheets for tailored functional materials
3. 学会等名 ACS Spring 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minoru Osada
2. 発表標題 Single droplet assembly of 2D nanosheets for additive manufacturing
3. 学会等名 Smart MADE 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yue Shi, Minoru Osada
2. 発表標題 Single droplet assembly for 2D nanosheet tiling
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 2次元酸化物の精密合成と新機能創製
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本瑛祐, 林 浩平, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 界面活性剤-セリウム複合体結晶を利用したセリアナノシートのボトムアップ合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 2次元酸化物でつくるトランス次元材料
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会（2021）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木晶子, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 界面活性剤結晶を用いた鑄型合成法による白金ナノシートの合成
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原康輔, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 界面活性剤-シリカ層状メソ構造体を利用したアモルファスシリカナノシートの合成
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林浩平, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 セリアナノシートのテンプレート合成およびイオン伝導性評価
3. 学会等名 日本電子材料技術協会2020年度第57回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田佳典, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 気液界面を利用した酸化亜鉛ナノシートの合成とフォトルミネッセンス特性評価
3. 学会等名 2020年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原康輔, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 層状メソ構造体シリカの剥離によるシリカナノシートの合成
3. 学会等名 2020年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木晶子, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 界面活性剤結晶を用いた白金ナノシートのボトムアップ合成
3. 学会等名 2020年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林浩平, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 セリアナノシートのボトムアップ合成とイオン伝導性評価
3. 学会等名 2020年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 無機ナノシートでつくる機能性セラミックス
3. 学会等名 早稲田大学 各務記念材料技術研究所 2020年度 材研オープンセミナー 「機能性セラミックスの新展開」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 施 越, 長田 実
2. 発表標題 2次元ナノシートの精密集積とその応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会電子材料部会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 無機ナノシートの精密合成と複合化技術
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2020年度秋季大会（第126回講演大会）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林浩平, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 界面活性剤結晶をテンプレートにしたセリアナノシートの合成とイオン伝導性評価
3. 学会等名 日本化学会第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田佳典, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 ZnOナノシートの気液界面合成とフォトルミネッセンス特性評価
3. 学会等名 日本化学会第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木晶子, 山本瑛祐, 小林 亮, 長田 実
2. 発表標題 界面活性剤結晶を鋳型とした白金ナノシートの合成
3. 学会等名 日本化学会第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Osada
2. 発表標題 2D oxides: Exploring new flatland
3. 学会等名 Taiwan Consortium of Emergent Crystalline Materials (TCECM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Osada
2. 発表標題 2D ferroelectrics
3. 学会等名 2nd Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (GFMAT-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Osada
2. 発表標題 2D Materials: to Graphene and beyond?
3. 学会等名 HTTN Joint Symposium on Materials Science and Nanotechnology for the 21st Century (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Osada
2. 発表標題 Smart additive manufacturing using 2D materials
3. 学会等名 Smart MADE 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Osada
2. 発表標題 The rise of 2D ferroelectrics
3. 学会等名 JSPS A3 Program Joint Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Shi, E. Yamamoto, M. Kobayashi, M. Osada
2. 発表標題 Controlled Synthesis of 2D Oxide Nanosheets
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Morita, E. Yamamoto, M. Kobayashi, M. Osada
2. 発表標題 1 nm-thick ZnO Nanosheets Grown at the Water-air Interface
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hagiwara, E. Yamamoto, M. Kobayashi, M. Osada
2. 発表標題 Topotactic Synthesis of Ferroelectric BaTiO ₃ Nanosheets
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hayashi, E. Yamamoto, M. Kobayashi, M. Osada
2. 発表標題 Atomically Defined Templates for Growth of CeO ₂ Nanosheets
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 酸化物が拓くポストグラフェン技術
3. 学会等名 ポストグラフェン材料研究会第5回「ポストグラフェン材料のデバイス開発研究会」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 無機ナノシートでつくる新しい傾斜機能材料
3. 学会等名 傾斜機能材料学会 第29回 傾斜機能材料シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 2次元酸化物が拓く新しい原子膜技術
3. 学会等名 酸化グラフェン学会 第13回酸化グラフェンシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 酸化ナノシートをベースとした薄膜アーキテクトニクス
3. 学会等名 応用物理学会第67回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長田 実
2. 発表標題 2次元酸化物が拓くポストグラフェン技術
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林浩平, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 ナノ界面鑄型合成法によるCeO ₂ 原子膜のテーラーメイド合成
3. 学会等名 2019年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田佳典, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 ZnO原子膜のテーラーメイド合成と臨界物性の評価
3. 学会等名 2019年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 E. Yamamoto, K. Hayashi, M. Kobayashi, M. Osada
2. 発表標題 Bottom-up preparation of ceria based nanosheet using solid surfactant crystals
3. 学会等名 日本セラミックス協会第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 萩原和樹, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実
2. 発表標題 BaTiO ₃ ナノシートのトポタクティック合成と強誘電特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 長田 実	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 7
3. 書名 エレクトロニクス用セラミックスの開発、評価手法と応用	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 薄膜の製造方法及び薄膜	発明者 山本瑛祐, 長田 実, 小林 亮, 林 浩平	権利者 国立大学法人名 古屋大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-036782	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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			
中国	南京大学	清華大学		
韓国	延世大学	漢陽大学	仁荷大学	
台湾	国立台湾大学			