

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：82108
研究種目：基盤研究(A) (一般)
研究期間：2018～2021
課題番号：18H03869
研究課題名(和文)水酸化物ナノシートを用いたエネルギー変換のためのイオン伝導膜及び電極触媒の開発

研究課題名(英文) Development of ion conducting membrane and electrocatalyst based on hydroxide nanosheets for efficient energy conversion

研究代表者
馬 仁志 (MA, Renzhi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・グループリーダー

研究者番号：90391218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：3d遷移金属(Fe, Co, Ni等)の配位構造や原子価を高度に制御できる新規合成法を開発し、層数制御可能な層状複水酸化物(LDH)ナノシートを合成した。単層ナノシートにおける2次元異方的イオン伝導機構を明らかにした上、LDHナノ粒子と複合することによって、高い伝導率を持つイオン伝導膜に適した作製プロセスを開発した。LDHナノシートと高電導性ナノ物質(Agナノ粒子、グラフェン、RuO₂.1ナノシート等)とハイブリッドさせ、金属組成、配位環境及び酸化状態、ヘテロ界面カップリング効果などを制御することによって、酸素還元や酸素発生反応に高活性を示すナノ電極触媒の創製に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はオリジナル2次元ナノシートを活用したエネルギー変換のための基盤技術構築を目指し、これまで殆ど手つかずであった水酸化物系ナノ物質の先進的な新機能開拓に大きく貢献したものであり、学術的な重要性が高く評価できる。アルカリ燃料電池や水電解関連技術の開発は、現在主流のプロトン伝導方式に比べ、多様な燃料や安価な3d遷移金属元素を触媒として使用できるなどの利点から、次世代エネルギーの創出に繋がる期待が高い。

研究成果の概要(英文)：New methods were developed to synthesize LDH nanosheets based on 3d transition metals (Fe, Co, Ni, etc.) with highly controlled coordination environment, valence state and layer number. In addition to successfully elucidating the two-dimensional anisotropic ion conduction mechanism in single-layer nanosheets, structural design and fabrication process such as incorporating LDH nanoparticles were invented for preparing ion conduction membranes with both high in-plane and cross-plane conductivity. Moreover, by hybridizing LDH nanosheets with electrically conductive nanomaterials (Ag nanoparticles, graphene, RuO₂.1 nanosheets, etc.), we have succeeded in creating efficient electrocatalysts in both oxygen reduction reaction (ORR) and oxygen evolution reaction (OER). The high performance was derived from the high degree control on metal composition, coordination environment and oxidation state, as well as hetero-interface coupling effect.

研究分野：ナノ材料化学

キーワード：ナノシート イオン伝導 電極触媒 燃料電池 水電解

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) クリーンエネルギー社会の実現へ向けて、化石燃料に依存しない高効率エネルギー貯蔵変換に関する研究開発が活発に進められている。燃料電池または水の電気分解技術はその重要な一端を担うと期待される。現在は、燃料電池や電解反応を円滑に進行させるために、高い触媒能を持つ白金系貴金属電極が大量に使用されている。低コスト化には貴金属使用量の大幅な削減が必須である。

(2) アルカリ燃料電池及び水電解方式では卑金属を含めた多様な触媒を用いることができると同時に、様々な燃料の直接変換と高変換効率、低コスト化が可能になる。しかしながら、水酸化物イオン(OH⁻)の移動度が低いため、陰イオン交換膜の伝導率は現在主流のプロトン交換膜(Nafion®: 10⁻¹ S/cm)より1~2ケタ低く、その技術開発と商業化を遅らせている。

(3) 次世代アルカリ燃料電池や水電解装置を開発するためには、水酸化物イオンを高速で伝導させる電解質と高性能卑金属電極触媒が必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、層状複水酸化物(LDH)ナノシートの高いOH⁻伝導特性に着目し、その特有の2次元異方的伝導機構を解明する。ナノシート面内方向の高いイオン伝導度を維持しながら、垂直方向の伝導度を大幅に向上するイオン伝導膜の開発に挑戦する。同時に、3d遷移金属組成(Fe, Co, Ni等)LDHナノシートとグラフェンをはじめとする高導電性ナノ物質との複合電極触媒を創製する。オリジナルの2次元ナノシート材料を活用・複合化することによって、新規OH⁻イオン伝導膜及び卑金属触媒を開発し、高効率エネルギー変換のための基盤技術の創出を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 新規合成法を開発し、3d遷移金属(Fe, Co, Ni等)の配位構造や原子価を高度に制御したLDH層状結晶を精密に合成する。イオン交換プロセスを介した温和な条件の下で、高品質・新組成・層数制御可能なナノシートを誘導する。

(2) LDH単層ナノシートを用い、シート面内方向とシート面に垂直な方向の異方的イオン伝導特性を比較考察しながら、2次元イオン伝導機構を明らかにする。2次元材料の伝導特性に適した構造設計を行い、液相成膜プロセスを開発することにより、高いイオン伝導率を持つイオン伝導膜を作製する。

(3) ヘテロ集積化プロセスによりLDHナノシートとグラフェンなど高導電性ナノ物質とハイブリッド化し、酸素還元(ORR)や酸素発生(OER)反応に高活性を示す複合ナノ触媒を開発する。金属組成、配位環境及び酸化状態、ヘテロ界面などの影響を明らかにするとともに、0.3 V以下の過電圧の達成を目指す。

4. 研究成果

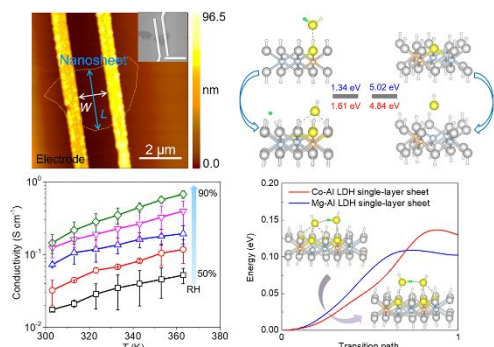


図1 LDH ナノシートイオン伝導特性の直接評価および伝導機構の理論説明

(1) LDHナノシート1枚におけるイオン伝導挙動の直接評価に成功し、室温付近で10⁻¹ S/cmに達する極めて高いOH⁻イオン伝導性を示すことを確認した(図1)。この高いイオン伝導度はナノシート表面の高秩序に密集しているヒドロキシルネットワークという構造的特徴に直接関連していることを理論計算により明らかにした。ナノシート表面におけるOH⁻イオンの高速伝導経路を解明し、2次元異方的伝導機構を提案した。

(2) LDHナノシートとLDHナノ粒子との複合ゾルを真空濾過させることにより、イオン伝導薄膜・メンブレンの調製に成功した。複合膜内のナノシートとナノ粒子の含有量を調整することによって、ナノ粒子を囲むナノシートは効果的なイオン伝導

経路とネットワークを形成すると考えられる(図2)。LDHナノシートのみ積層する場合に比べ、面内方向の高いイオン伝導度を維持しながら、垂直方向の伝導度が2桁以上向上されることができ、10⁻² S/cmという高い伝導率を達成した。

長方形や三角形にカットしたLDHナノシートの再積層薄膜をイオンデバイスとして用い、濃度勾配にしたがってイオン拡散及び濃度勾配に逆らってイオン輸送の可能性について検証した。

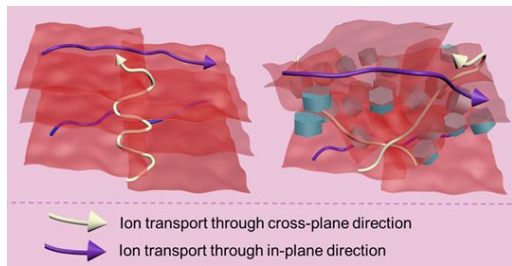


図 2 LDH ナノシートとナノ粒子との複合膜におけるイオン伝導経路模式図

Co²⁺-Al³⁺ LDH (CoAl-Ag) を合成した。通常の CoAl-NO₃ LDH に比べ、CoAl-Ag は電極触媒活性が大幅に増強され、アルカリ溶液中でほぼ理想的な 4 電子移動過程を経て ORR 反応を進行することを見出した (図 3)。ORR 触媒活性増強の原因は、Ag ナノ粒子の挿入により層状複水酸化物層間スペースが拡張されるとともに、導電性が向上することによって、触媒反応生成物および電子の移動が効果的に促進されていることを明らかにした。

(4) トポケミカル手法を駆使し、LDHの金属組成および電荷密度を精密制御できる手法を開発し、これまで研究されてきた M²⁺_{2/3}M³⁺_{1/3} (e.g., Co_{2/3}Fe_{1/3}) という典型的な組成と異なる Co²⁺_{5/6}Fe³⁺_{1/6} や Co²⁺_{2/3}Ni²⁺_{1/6}Fe³⁺_{1/6} などの 2 層単元構造の板状結晶を剥離させることによって、単層ナノシート (Single-layer) と同じ電荷密度 (1/3Fe³⁺) を持つが、平均厚さが約 1.9 nm の 2 層構造 (Double-layer) Co_{5/6}Fe_{1/6}Co_{2/3} と Ni_{1/6}Fe_{1/6} LDH ナノシートの作製に初めて成功した (図 4)。単層ナノシートに比べ、2 層構造がより優れた OER 触媒活性、高い反応速度とターンオーバー頻度 (TOF) を示すことを明らかにした。ナノシートの元素組成と層数の精密なチューニングは、高性能触媒の創製に向けた重要な手段であることを実証した。

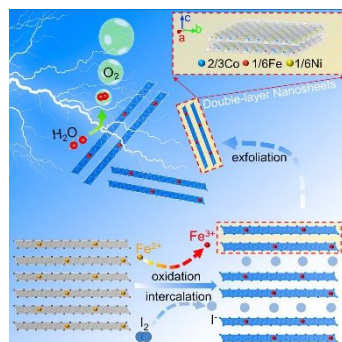


図 4 2 層構造 Co-(Ni)-Fe LDH ナノシートの合成模式図及び OER 触媒活性評価

(5) 配位不飽和サイトを持つ遷移金属水酸化物ナノ構造の探索の一環として、6 配位 (Oh) と 4 配位 (Td) 共存、しかも原子価 2 価と 3 価が混在する Co²⁺-Fe³⁺ 水酸化物ナノコーンを合成した (図 5)。ナノコーンの四面体サイトの低い脱水素エネルギー (G_{De-H}) により、相転移が起こりやすくなるため、電極触媒性能が大幅に増強され、特に優れたターンオーバー頻度を有することを明らかにした。これにより、中心金属イオンの酸化状態、配位環境の高度制御がナノ触媒の創製に新たな可能性を示せた。

(6) 6 配位と 4 配位共存の Ni²⁺-Fe³⁺ LDH ナノシートを用い、静電的自己組織化により多様な酸化物ナノシート (RuO_{2.1}、MnO₂、還元型酸化グラフェン (rGO)) と組み合わせ、ヘテロ積層膜を形成した。その中で、導電性 RuO_{2.1} ナノシートが下地になる二層膜 (bilayer) が酸素発生反応において最も高い OER 触媒活性を示すことを明らかにした。第一原理計算 (DFT) と COMSOL Multiphysics シミュレーション

その結果、三角形膜の場合、幾何学的な制約と外部バイアス電圧を印加することにより、電流値は大きく変化することが観察され、すなわちイオン整流効果 (ダイオード特性) が得られることが分かった。このイオン整流効果を利用すれば、積層膜の幾何学形状設計と外部電圧の印加などによって、濃度勾配に逆らってイオンを能動的輸送する新規イオンポンプの開発が予想され、次の段階の研究に繋げることができた。

(3) 簡便なレドックスプロセスを開発することによって、Ag ナノ粒子をインターカレートした

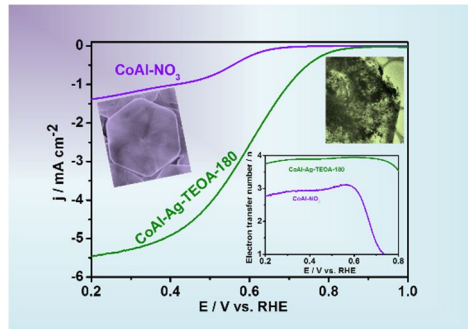


図 3 Ag ナノ粒子を挿入した CoAl-Ag LDH の優れた ORR 触媒特性

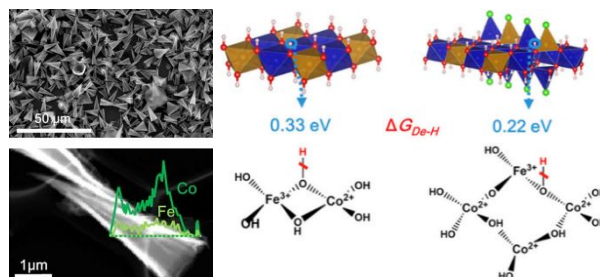
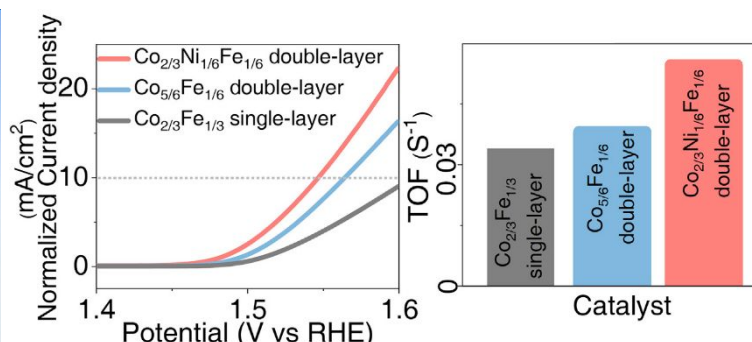


図 5 Co²⁺-Fe³⁺ 水酸化物ナノコーンにおける 6/4 配位環境に依存する脱水素エネルギーの変化

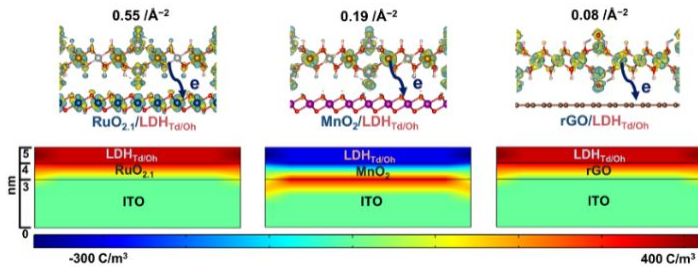


図 6 異種ナノシートのヘテロ界面カップリング効果

結果により、触媒性能を向上する原因は、電子が表面露出したレドックス活性な水酸化物ナノシートから下地の導電性酸化物ナノシートへの効率的移動が可能というヘテロ界面カップリング効果によるものであることを解明した(図 6)。分子レベルの精度で異種ナノシートの高度操作と配置は、高性能触媒の開発にとって重要な戦略の一つとして突き止めた。

本研究成果は、2次元ナノシートを利用した新規イオン伝導・分離膜及び高性能ナノ触媒の創製に向けた重要な進展として、アルカリ燃料電池や水電解装置等への応用展開に導くことが高く期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計44件（うち査読付論文 44件 / うち国際共著 39件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Chen Fashen, Zhou Wei, Jia Lulu, Liu Xiaohe, Sasaki Takayoshi, Ma Renzhi	4. 巻 2
2. 論文標題 Transition-metal hydroxide nanosheets with peculiar double-layer structures as efficient electrocatalysts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem Catalysis	6. 最初と最後の頁 867 ~ 882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.checat.2022.02.015	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 He Yuanqing, Jia Lulu, Lu Xueyi, Wang Chenhui, Liu Xiaohe, Chen Gen, Wu Dan, Wen Zuxin, Zhang Ning, Yamauchi Yusuke, Sasaki Takayoshi, Ma Renzhi	4. 巻 16
2. 論文標題 Molecular-Scale Manipulation of Layer Sequence in Heteroassembled Nanosheet Films toward Oxygen Evolution Electrocatalysts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 4028 ~ 4040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c09615	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 Xu Chengqun, Li Dezhi, Liu Xiaolu, Ma Renzhi, Sakai Nobuyuki, Yang Yuchen, Lin Shiyin, Yang Jiale, Pan Hui, Huang Janjer, Sasaki Takayoshi	4. 巻 430
2. 論文標題 Direct Z-scheme construction of g-C3N4 quantum dots/TiO2 nanoflakes for efficient photocatalysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 132861 ~ 132861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.132861	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 Zheng Zhicheng, Guo Yanru, Wan Hao, Chen Gen, Zhang Ning, Ma Wei, Liu Xiaohe, Liang Shuquan, Ma Renzhi	4. 巻 5
2. 論文標題 Anchoring Active Sites by Pt2FeNi Alloy Nanoparticles on NiFe Layered Double Hydroxides for Efficient Electrocatalytic Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Materials	6. 最初と最後の頁 270 ~ 277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eem2.12164	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 Xiong Pan, Zhang Fan, Zhang Xiuyun, Liu Yifan, Wu Yunyan, Wang Shijian, Safaei Javad, Sun Bing, Ma Renzhi, Liu Zongwen, Bando Yoshio, Sasaki Takayoshi, Wang Xin, Zhu Junwu, Wang Guoxiu	4. 巻 12
2. 論文標題 Atomic-scale regulation of anionic and cationic migration in alkali metal batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24399-9	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 該当する

1. 著者名 Bai Mingjun, Liu Xiaohu, Sakai Nobuyuki, Ebina Yasuo, Jia Lulu, Tang Daiming, Sasaki Takayoshi, Ma Renzhi	4. 巻 12
2. 論文標題 General Synthesis of Layered Rare-Earth Hydroxides (RE = Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Y) and Direct Exfoliation into Monolayer Nanosheets with High Color Purity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 10135~10143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c03047	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 Bai Mingjun, Liu Xiaohu, Sasaki Takayoshi, Ma Renzhi	4. 巻 13
2. 論文標題 Superlattice films of semiconducting oxide and rare-earth hydroxide nanosheets for tunable and efficient photoluminescent energy transfer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 4551~4561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0nr08824b	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 Liao Chengan, Xiao Ziyi, Zhang Ning, Liang Bo, Chen Gen, Wu Wei, Pan Jianglin, Liu Min, Zheng Xiang-Rong, Kang Qing, Cao Xianwu, Liu Xiaohu, Ma Renzhi	4. 巻 57
2. 論文標題 Photo-irradiation tunes highly active sites over $-Ni(OH)_2$ nanosheets for the electrocatalytic oxygen evolution reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9060~9063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc03410c	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 Xue Hairong, Gong Hao, Lu Xueyi, Gao Bin, Wang Tao, He Jianping, Yamauchi Yusuke, Sasaki Takayoshi, Ma Renzhi	4. 巻 11
2. 論文標題 Aqueous Formate Based Li CO ₂ Battery with Low Charge Overpotential and High Working Voltage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 2101630 ~ 2101630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.202101630	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 Ge Jiajia, Zheng Jin You, Zhang Jiangwei, Jiang Suyu, Zhang Lili, Wan Hao, Wang Liming, Ma Wei, Zhou Zhen, Ma Renzhi	4. 巻 9
2. 論文標題 Controllable atomic defect engineering in layered Ni _x Fe _{1-x} (OH) ₂ nanosheets for electrochemical overall water splitting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 14432 ~ 14443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ta02188e	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 Wang Chenhui, Sakai Nobuyuki, Ebina Yasuo, Kikuchi Takayuki, Snowdon Monika R., Tang Daiming, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Three-in-one cathode host based on Nb ₃ O ₈ /graphene superlattice heterostructures for high-performance Li-S batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 9952 ~ 9960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ta01913a	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 Roth Wieslaw J., Sasaki Takayoshi, Wolski Karol, Ebina Yasuo, Tang Dai-Ming, Michiue Yuichi, Sakai Nobuyuki, Ma Renzhi, Cretu Ovidiu, Kikkawa Jun, Kimoto Koji, Kalahurska Katarzyna, Gil Barbara, Mazur Michal, Zapotoczny Szczepan, Cejka Jiri, Grzybek Justyna, Kowalczyk Andrzej	4. 巻 143
2. 論文標題 Exfoliated Ferrierite-Related Unilamellar Nanosheets in Solution and Their Use for Preparation of Mixed Zeolite Hierarchical Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 11052 ~ 11062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c04081	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 He Yuanqing, Liu Xiaohu, Chen Gen, Pan Jiangling, Yan Ailing, Li An, Lu Xueyi, Tang Daiming, Zhang Ning, Qiu Tingsheng, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 32
2. 論文標題 Synthesis of Co(II)-Fe(III) Hydroxide Nanocones with Mixed Octahedral/Tetrahedral Coordination toward Efficient Electrocatalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 4232 ~ 4240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c00512	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 Lu Xueyi, Sakai Nobuyuki, Tang Daiming, Li Xinming, Taniguchi Takaaki, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 CoNiFe Layered Double Hydroxide/RuO ₂ .1 Nanosheet Superlattice as Carbon-Free Electrocatalysts for Water Splitting and Li-O ₂ Batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 33083 ~ 33093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c07656	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 Xiong Pan, Zhang Fan, Zhang Xiuyun, Wang Shijian, Liu Hao, Sun Bing, Zhang Jinqiang, Sun Yi, Ma Renzhi, Bando Yoshio, Zhou Cuifeng, Liu Zongwen, Sasaki Takayoshi, Wang Guoxiu	4. 巻 11
2. 論文標題 Strain engineering of two-dimensional multilayered heterostructures for beyond-lithium-based rechargeable batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3297 ~ 3297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17014-w	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 Lin Yifan, Wan Hao, Wu Dan, Chen Gen, Zhang Ning, Liu Xiaohu, Li Junhui, Cao Yijun, Qiu Guanzhou, Ma Renzhi	4. 巻 142
2. 論文標題 Metal-Organic Framework Hexagonal Nanoplates: Bottom-up Synthesis, Topotactic Transformation, and Efficient Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 7317 ~ 7321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c01916	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 Hao, Wang Haoji, Wan Hao, Wu Dan, Chen Gen, Zhang Ning, Cao Yijun, Liu Xiaohe, Ma Renzhi	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultrathin Nanosheet-Assembled Co-Fe Hydroxide Nanotubes: Sacrificial Template Synthesis, Topotactic Transformation, and Their Application as Electrocatalysts for Efficient Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 46578 ~ 46587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c15253	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 Lu Xueyi, Xue Hairong, Gong Hao, Bai Mingjun, Tang Daiming, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 2D Layered Double Hydroxide Nanosheets and Their Derivatives Toward Efficient Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano-Micro Letters	6. 最初と最後の頁 86 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40820-020-00421-5	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 Xiong Pan, Sun Bing, Sakai Nobuyuki, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi, Wang Shijian, Zhang Jinqiang, Wang Guoxiu	4. 巻 32
2. 論文標題 2D Superlattices for Efficient Energy Storage and Conversion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1902654 ~ 1902654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201902654	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 Jiang Kun, Xiong Pan, Ji Jinpeng, Zhu Junwu, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi, Geng Fengxia	4. 巻 53
2. 論文標題 Two-Dimensional Molecular Sheets of Transition Metal Oxides toward Wearable Energy Storage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 2443 ~ 2455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.0c00483	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 Chen Gen, Wan Hao, Ma Wei, Zhang Ning, Cao Yijun, Liu Xiaohe, Wang Jun, Ma Renzhi	4. 巻 10
2. 論文標題 Layered Metal Hydroxides and Their Derivatives: Controllable Synthesis, Chemical Exfoliation, and Electrocatalytic Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1902535 ~ 1902535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201902535	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 Xiong Pan, Wu Yunyan, Liu Yifan, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi, Wang Xin, Zhu Junwu	4. 巻 13
2. 論文標題 Two-dimensional organic-inorganic superlattice-like heterostructures for energy storage applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 4834 ~ 4853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ee03206a	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 Wan Hao, Chen Fashen, Ma Wei, Liu Xiaohe, Ma Renzhi	4. 巻 12
2. 論文標題 Advanced electrocatalysts based on two-dimensional transition metal hydroxides and their composites for alkaline oxygen reduction reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 21479 ~ 21496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0nr05072e	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 Jia Lulu, Wan Hao, Liu Xiaohe, Chen Gen, Zhang Ning, Li Junhui, Zhou Wei, Cao Yijun, Ma Renzhi, Qiu Guanzhou	4. 巻 12
2. 論文標題 Alternate Restacking of 2D CoNi Hydroxide and Graphene Oxide Nanosheets for Energetic Oxygen Evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 5274 ~ 5281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201902641	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 He Yuanqing, Liu Xiaohu, Yan Ailing, Wan Hao, Chen Gen, Pan Jiangling, Zhang Ning, Qiu Tingsheng, Ma Renzhi, Qiu Guanzhou	4. 巻 7
2. 論文標題 Hybrid Nanostructures of Bimetallic NiCo Nitride/N-Doped Reduced Graphene Oxide as Efficient Bifunctional Electrocatalysts for Rechargeable Zn-Air Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 19612 ~ 19620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.9b04703	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 Sun Pengzhan, Chen Fashen, Zhou Wei, Liu Xiaohu, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Superionic conduction along ordered hydroxyl networks in molecular-thin nanosheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Horizons	6. 最初と最後の頁 2087 ~ 2093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9mh00549h	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 Liao Chengan, Yang Baopeng, Zhang Ning, Liu Min, Chen Guoxin, Jiang Xiaoming, Chen Gen, Yang Junliang, Liu Xiaohu, Chan Ting Shan, Lu Ying Jui, Ma Renzhi, Zhou Wei	4. 巻 29
2. 論文標題 Constructing Conductive Interfaces between Nickel Oxide Nanocrystals and Polymer Carbon Nitride for Efficient Electrocatalytic Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1904020 ~ 1904020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201904020	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 Xiong Pan, Zhang Xiuyun, Wan Hao, Wang Shijian, Zhao Yufei, Zhang Jinqiang, Zhou Dong, Gao Weicheng, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi, Wang Guoxiu	4. 巻 19
2. 論文標題 Interface Modulation of Two-Dimensional Superlattices for Efficient Overall Water Splitting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 4518 ~ 4526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b01329	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 Qin Ruinan, Wan Hao, Liu Xiaohe, Chen Gen, Zhang Ning, Ma Renzhi, Qiu Guanzhou	4. 巻 6
2. 論文標題 Activity enhancement of layered cobalt hydroxide nanocones by tuning interlayer spacing and phosphidation for electrocatalytic water oxidation in neutral solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 1744 ~ 1752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9qi00453j	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 Wan Hao, Liu Xiaohe, Wang Haidong, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Recent advances in developing high-performance nanostructured electrocatalysts based on 3d transition metal elements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale Horizons	6. 最初と最後の頁 789 ~ 808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nh00461g	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 Yang Yanbing, Yang Xiangdong, Liang Ling, Gao Yuyan, Cheng Huanyu, Li Xinming, Zou Mingchu, Ma Renzhi, Yuan Quan, Duan Xiangfeng	4. 巻 364
2. 論文標題 Large-area graphene-nanomesh/carbon-nanotube hybrid membranes for ionic and molecular nanofiltration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1057 ~ 1062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aau5321	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 Zhang Dan, Wang Hao, Chen Gen, Wan Hao, Zhang Ning, Liu Xiaohe, Ma Renzhi	4. 巻 11
2. 論文標題 Post-synthesis isomorphous substitution of layered Co-Mn hydroxide nanocones with graphene oxide as high-performance supercapacitor electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 6165 ~ 6173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nr10473e	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 Han Jiang, Chen Gen, Liu Xiaohu, Zhang Ning, Liang Shuquan, Ma Renzhi, Qiu Guanzhou	4. 巻 55
2. 論文標題 Cobalt iron phosphide nanoparticles embedded within a carbon matrix as highly efficient electrocatalysts for the oxygen evolution reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9212 ~ 9215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc03117k	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 Yan Ailing, Wan Hao, Chen Gen, Zhang Ning, Ma Wei, Liu Xiaohu, Cao Yijun, Ma Renzhi	4. 巻 48
2. 論文標題 Heterostructured NiFe oxide/phosphide nanoflakes for efficient water oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 8442 ~ 8448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9dt01275c	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 Yifan, Chen Gen, Wan Hao, Chen Fashen, Liu Xiaohu, Ma Renzhi	4. 巻 15
2. 論文標題 2D free standing nitrogen-doped Ni-Ni ₃ S ₂ @carbon nanoplates derived from metal-organic frameworks for enhanced oxygen evolution reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1900348 ~ 1900348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201900348	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 Xiong Pan, Ma Renzhi, Wang Guoxiu, Sasaki Takayoshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Progress and perspective on two-dimensional unilamellar metal oxide nanosheets and tailored nanostructures from them for electrochemical energy storage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy Storage Materials	6. 最初と最後の頁 281 ~ 298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ensm.2018.12.011	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 該当する

1. 著者名 Deng Xiaolong, Huang Jinzhao, Wan Hao, Chen Fashen, Lin Yifan, Xu Xijin, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 32
2. 論文標題 Recent progress in functionalized layered double hydroxides and their application in efficient electrocatalytic water oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Energy Chemistry	6. 最初と最後の頁 93 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jechem.2018.07.007	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 Deng Xiaolong, Huang Jinzhao, Chen Fashen, Wan Hao, Lin Yifan, Xu Xijin, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 In situ growth of metallic Ag0 intercalated CoAl layered double hydroxides as efficient electrocatalysts for the oxygen reduction reaction in alkaline solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1084 ~ 1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8dt04610g	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 Xiong Pan, Ma Renzhi, Sakai Nobuyuki, Nurdiwijayanto Leanddas, Sasaki Takayoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Unilamellar Metallic MoS2/Graphene Superlattice for Efficient Sodium Storage and Hydrogen Evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 997 ~ 1005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.8b00110	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 Huang Jinzhao, Deng Xiaolong, Wan Hao, Chen Fashen, Lin Yifan, Xu Xijin, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Liquid Phase Exfoliation of MoS2 Assisted by Formamide Solvothermal Treatment and Enhanced Electrocatalytic Activity Based on (H3Mo12O40P/MoS2)n Multilayer Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 5227 ~ 5237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.7b04873	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 Yifan, Wan Hao, Chen Fashen, Liu Xiaohu, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 47
2. 論文標題 Two-dimensional porous cuprous oxide nanoplatelets derived from metal-organic frameworks (MOFs) for efficient photocatalytic dye degradation under visible light	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 7694 ~ 7700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8DT01117F	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 Wan Hao, Ma Renzhi, Liu Xiaohu, Pan Jiangling, Wang Haidong, Liang Shuquan, Qiu Guanzhou, Sasaki Takayoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Rare Cobalt-Based Phosphate Nanoribbons with Unique 5-Coordination for Electrocatalytic Water Oxidation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 1254 ~ 1260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenerylett.8b00621	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 Yi, Liu Xiaohu, Zhang Ning, Qiu Guanzhou, Ma Renzhi	4. 巻 165
2. 論文標題 Cobalt-doped Ni-Mn layered double hydroxide nanoplates as high-performance electrocatalyst for oxygen evolution reaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Clay Science	6. 最初と最後の頁 277 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clay.2018.07.036	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 Sakai Nobuyuki, Fukuda Katsutoshi, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi	4. 巻 30
2. 論文標題 Synthesis and Substitution Chemistry of Redox-Active Manganese/Cobalt Oxide Nanosheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1517 ~ 1523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.7b04068	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19件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Fang Xian, Renzhi Ma, Yoshiyuki Sugahara, Takayoshi Sasaki
2. 発表標題 Integration of layered double hydroxide nanosheets and nanoparticles for high performance anion exchange membrane
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 Lulu Jia, Renzhi Ma, Yoshiyuki Sugahara, Takayoshi Sasaki
2. 発表標題 Topochemical synthesis and anion exchange of iron (II, III) layered hydroxides toward oxygen evolution reaction (OER)
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 Fang Xian, Renzhi Ma, Yoshiyuki Sugahara, Takayoshi Sasaki
2. 発表標題 A High-Performance Solid Inorganic Anion Exchange Membrane via Integration of Layered Double Hydroxide Nanosheets and Nanoparticles
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 jointly with ICYS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lulu Jia, Renzhi Ma, Yoshiyuki Sugahara, Takayoshi Sasaki
2. 発表標題 Synthesis of Highly Crystalline Fe ²⁺ -Fe ³⁺ Layered Hydroxides via Topochemical Method Toward Oxygen Evolution Reaction (OER)
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 jointly with ICYS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 2D Functional Nanosheets: Soft Chemical Synthesis, Hetero-assembly and Emergent Properties
3. 学会等名 The 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 Sun Pengzhan, Chen Fashen, Ma Wei, Zhou Wei, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Ion Conducting and Electrocatalytic Properties of LDH Nanosheets
3. 学会等名 The 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 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of 2D Nanosheets and Hetero-structured Composites with Emergent properties.
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Research Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of Single-layer Nanosheets and Hybrids for Emergent Functions
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Colloid and Interface Science (ACCIS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of 2D nanosheets for energy-related applications
3. 学会等名 5th International Symposium of Advanced Inorganic Materials
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Anion Conductors and Electrocatalysts based on 2D Nanosheets
3. 学会等名 2019 International Conference on Electrochemical Energy
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of 2D hydroxide nanosheets and their hetero-assemblies with emergent properties
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Chemistry of Nanomaterials
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of Single-layer Nanosheets and Their Assemblies with Emergent Properties
3. 学会等名 1 & 2DM Conference & Exhibition
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of 2D hydroxide nanosheets and their hetero-assemblies with emergent properties
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Chemistry of Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lu Xueyi, Sakai Nobuyuki, Tang Daiming, Li Xinming, Taniguchi Takaaki, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Superlattice of CoNiFe LDH/Ruthenium Oxide Nanosheets as Efficient Electrocatalysts for Oxygen Evolution Reaction
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Chemistry of Nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sun Pengzhan, Chen Fashen, Zhou Wei, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Superior Anionic Transport in 2D Hydroxide Nanosheets
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lu Xueyi, Sakai Nobuyuki, Tang Daiming, Li Xinming, Taniguchi Takaaki, Ma Renzhi, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Superlattice Structured CoNiFe Layered Double Hydroxides/Ruthenium Oxide Nanosheets as Efficient Electrocatalysts for Oxygen Evolution Reaction
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi, Sun Pengzhan, Ma Wei, Sasaki Takayoshi
2. 発表標題 Exploration of Single-layer Nanosheets and Their Assemblies with Emergent Properties
3. 学会等名 1 & 2DM Conference & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ma Renzhi
2. 発表標題 Single-layer Nanosheets and their Assembly for Emergent Functions
3. 学会等名 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sasaki Takayoshi, Ebina Yasuo, Sakai Nobuo, Ma Renzhi, Osada Minoru
2. 発表標題 Solution-Based Lattice Engineering with 2D Oxide and Hydroxide Nanosheets
3. 学会等名 19th International Symposium on the Reactivity of Solids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ナノ構造体、酸素発生反応用の触媒、及び、ナノ構造体の製造方法	発明者 馬 仁志/フェ ユアン チン/佐々木 高義	権利者 物質・材料研究 機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-127104	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
研究分担者	坂井 伸行 (SAKAI Nobuyuki) (70431822)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・主任研究員 (82108)	

	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
研究協力者	陳 発紳 (CHEN Fashen)		
研究協力者	何 元卿 (HE Yuanqing)		
研究協力者	咸 芳 (XIAN Fang)		

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