

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02318

研究課題名(和文)新規MoPOM連結型細孔性無機結晶の創出と酸化還元ダイナミズム

研究課題名(英文)Synthesis of novel POM-based crystals with micropore and their Redox dynamism

研究代表者

上田 渉(Ueda, Wataru)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20143654

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)：MoPOMユニットとして α -Kegginで構成される新規細孔性結晶を合成した。元素と元素位置多様性および酸化還元ダイナミズムをもとに選択酸化触媒機能を達成し、また構造内電子プールによる酸素の活性化を見いだした。

Mo(W)と異元素からなる6員環ユニットを一次元鎖状化し、これにリンカーを結合させ新規細孔性結晶を合成した。鎖状内での電子移動をもとに酸化触媒機能を見いだした。W系ではキューバン型酸素多面体を主構造ユニットにしてVリンカーで連結し、三次元結晶構造化した。チャンネルとケージ構造を形成した新規な細孔性無機結晶であった。この物質は元素表面露出性が高く、従来の脱硝触媒を凌駕する性能を示した。

研究成果の概要(英文)： Novel porous crystalline solid was synthesized by using α -Keggin Mo-POM as synthetic unit. Resulting materials showed selective oxidation catalysis property and molecular oxygen activation on the basis of the elemental diversity, structural diversity, and redox dynamism. Novel porous crystalline solid was synthesized by assembling metal oxide nano-wire formed with 1D chaining of 6-membered ring units. The material showed unique selective oxidation performance due to the electron transfer through the 1D chain. Novel porous crystalline solid was synthesized through unit synthesis of cuban-type unit of W oxides and V-linkers. The crystalline materials formed micro-channels and cages and therefore became one with high elemental exposure state. It was found that the materials showed extremely catalytically active for de-NO_x reaction superior to existing catalysts.

研究分野：触媒化学

キーワード：ユニット合成 細孔性無機結晶 ポリオキシメタレート 酸素多面体 結晶構造 酸化還元 選択酸化反応 分子吸着

1. 研究開始当初の背景

これまで継続的に研究を続けてきたユニット法による高次構造複合酸化物結晶合成で、新規なマイクロ細孔性の複合酸化物結晶を創出したことは、複合酸化物触媒研究において顕著な成果となっていた。新たに得られた物質は2種類あり、その一つは(図1)5個の金属酸素八面体が連結した五員環ユニットが1個の金属酸素八面体をリンカーとして連結し、シリンダー型の7員環マイクロ細孔を形成した Mo_3VO_x 複合酸化物結晶である。もう一つは、Keggin型で還元型(ϵ 型)のヘテロポリモリブデン酸をユニットに、これが1個の金属酸素八面体をリンカーとして連結してダイヤモンド構造を形成し、Y型ゼオライトのようにマイクロチャンネルとケージ構造を形成した Mo ポリオキシメタレート(POM)連結型の細孔性無機結晶である。有機物を介在しない純粋に無機の細孔性複合酸化物の例はごく限定的で、図1に示したものが特異的で展開性のある例である。特に、後者の MoPOM 連結型細孔性無機結晶は、これまで世界中で試みられてきたが成功を見なかったものである。それゆえ、全無機型の MoPOM 連結型物質の代替として有機物を介在させた MOF 系の展開型である POMOF の方向で研究がなされてきた経緯がある。そのことを考えると、これら合成された物質の価

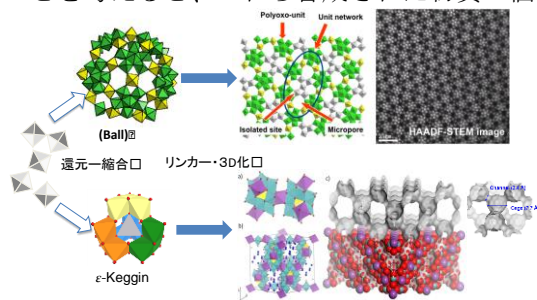


図1 7員環マイクロ細孔 Mo_3VO_x 複合酸化物結晶と Mo ポリオキシメタレート(POM)連結型の細孔性無機結晶の形成と構造

値は高い。また、これは今後の新たな複合酸化物合成、ひいては固体触媒展開に大きな影響を与えるものであり、またユニットの合成の可能性を大きく高めることになると期待される。

両者ともにユニークなマイクロ細孔特性を示し、前者のマイクロ細孔は物質の酸化還元状態に依存してその径を変化し、小分子の吸着が変化する類例を見ない特性を示す。また、マイクロ細孔内がアルカン選択酸化の触媒作用を示し、分子の補足による活性化と細孔が触媒反応場として使えることにより飛躍的に触媒活性が高まる効果を示した。後者の物質についてもマイクロ細孔性を見だし、リンカー部位に亜鉛元素を配置し、ケージ内にアルカリイオンを配置すると特異的に二酸化炭素を吸着することを見いだした。これによりメタン-二酸化炭素混合ガスで、二酸化炭素を選択的に吸着分離できる可能性が拓か

れた。また、この物質も同様に特異な酸化還元特性を示し、高い可逆的多電子酸化還元(容量的に 320Ah/kg 、27 電子還元相当)をほぼ安定に起こすことが実験から見いだされ、高容量のリチウムイオン電池の正極活物質の可能性が出ている状況にあった。

2. 研究の目的

以上のように、2つ目の例にある MoPOM 連結型細孔性無機結晶の持つ先進性は著しく、これに基づく様々な新しい固体物性や触媒物性が期待されることから、これを加速度的に具体化するため本研究を実施する。加えて、本研究の特徴は、 MoPOM 連結型細孔性無機結晶の持つ広い可能性を十分に引き出すため、分野の異なる研究者が分担者として参画し、幅広い展開を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

物質の新規合成と材料特性検討に研究は大別される。前者は、これまでの研究の積み重ねから細孔性 POM 連結結晶の合成には酸素八面体の配位歪みに対する柔軟性に優れる Mo 元素が最適であり、その次に W が同様の意味で対象となる。リンカーは V など多様な元素を対象とした。具体的には、ユニット法による新規ポーラス MoPOM 結晶の合成を第一の目的とする。 Mo や W のユニットと様々な元素の金属酸素四面体ダイマーやトリマーリンカーからなるサブユニット形成を導く合成条件を設定し、水熱合成条件下で3D化させる。また異なる結晶構造部位への複数の金属元素導入や欠損構造導入により、より複雑性の増した結晶性マイクロ細孔物質の合成を進める。このような展開が可能なのは研究対象とする物質の持つ結晶構造の複雑性にあり、その意味でも様々な物質新特性を引き出すことができる。

材料特性検討では、すでにある ϵ 型 Mo ポリオキシメタレート(POM)連結型細孔性無機結晶について酸化還元機能、特にそのダイナミズムに立脚した機能、具体的には酸化触媒機能、酸素分子活性化、選択吸着機能、そして電気化学機能で調べる。また、物質合成研究で生み出される様々な物質についても同様の検討を加え、新しい固体物性や触媒物性を引き出すことを実施した。

4. 研究成果

(1) ϵ 型 Mo-POM 連結型細孔性無機結晶の構成元素多様化

一般式 $\text{M}_1\text{xH}_y[\text{M}_2\text{Mo}(\text{V})_{12}\text{O}_{40}(\text{M}_3)_2](\text{M}_1$ はチャンネルとケージ内のイオン交換サイトに位置、 M_2 は Keggin 構ユニット中心に位置、 M_3 はユニットリンカー)で表される物質合成を幅広い元素で展開し、 M_1 は $\text{NH}_4, \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$ などの1価のイオンのみならず他の多くの元素がイオン交換できること、 M_2 は $\text{V}, \text{Zn}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Fe}$ 、 M_3 は $\text{Bi}, \text{Zn}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Fe}$ などが

位置できることを見いだした。ユニットとリンカー単位で構成される細孔性結晶であるが故に、結晶構造的に6種類の異なる構造位置が生じ、様々な固体物質の機能を創出できる物質となった。

(2) ε型 Mo-POM 連結型細孔性無機結晶の酸化還元機能

ε-Keggin ユニットとモノマーリンカーで構成され、多様な元素で構成される新規な全無機細孔性結晶の酸化還元機能を調査した。H_γ[VMo₉V₂O₄₀Bi₂]触媒はメタクロレインの気相選択酸素酸化に活性を示すことを見だし、従来のヘテロポリ酸の発展系を提示することとなった。これは、構造元素の協働による選択酸化機能が作用していると考えられ、同時に Fe 元素をイオン交換的に導入すると構造内電子プールとの相互作用により酸素分子の低温活性化が進行することを見だし、これらの元素間協働を高めれば、より良い酸化触媒が構築できることが可能となると推定している。このものの高容量可逆的多電子酸化還元を利用したリチウムイオン捕捉機能を見いだした。

Na_γ[ZnMo₁₂O₄₀Zn₂]は CH₄-CO₂ 混合気体からの選択的 CO₂ 吸着の機能を持つことを明らかにした。

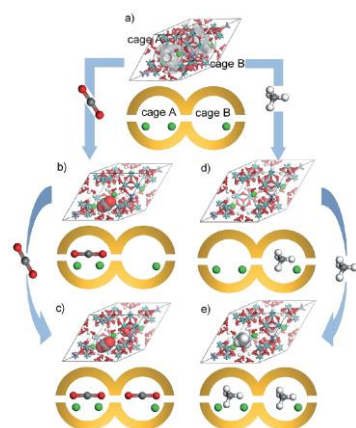


図2 ケージ内への CH₄-CO₂ 吸着のモンテカルロシミュレーション

図2に示したように、CO₂ は Na の多いケージに強く吸着するのに対し、CH₄ は吸着空間サイズに依存する。このことが CO₂ 選択吸着を発現している。

(3) 新規な Mo(W)-POM 連結型細孔性ナノワイヤ無機結晶の合成

複数元素からなる遷移金属酸素多面体クラスターを主構造ユニットにし、これを同じく遷移金属酸素多面体のモノマー、ダイマー、トリマークラスターをリンカーとして連結し、三次元結晶構造化を展開した。当初 Mo を主元素に構造ユニットを形成し、リンカーを作用させたが、結晶として生成したのは前述の M_{1x}H_γ[M₂Mo(V)₁₂O₄₀(M₃)₂]だけで、ダイマーやトリマーがリンカーとなった細孔性結晶の形成には成功しなかった。

元素を Mo に加え、W も対象にして合成検討したところ、大きく分類して2種類の新規構造体が見いだされた。1つは、図3に示されたような6員環ユニット

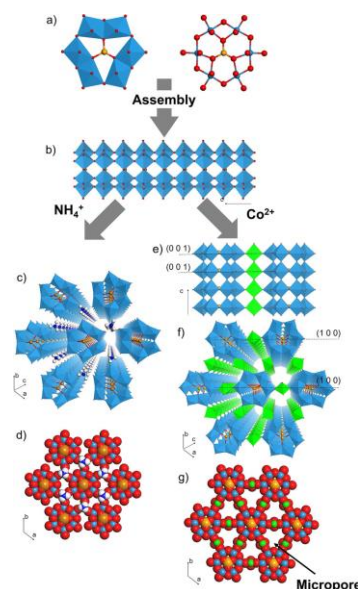


図3 酸化物ワイヤ構造

(中心には異元素、P, Te, Se が位置する)が面積層し、c 軸に伸長した酸化物ワイヤ構造となる。これが一次構造で、これがアンモニウムイオンや Co イオンがリンカーとなり、三次元細孔性

結晶となったものである。細孔性に基づく水の特異的吸着共同が観測される。また、リンカーをプロトンにすると、ワイヤ間の連結が解かれ、酸化物ワイヤが分子状に分離し、容易に液体に分散し、様々な触媒作用を示すことを見いだした。

もう1つの例は、W系でキューバン型の酸素多面体クラスターを主構造ユニットにしてV酸素多面体をリンカーとして連結し、三次元結晶構造化したものである(図4)。これはシリカ-アルミナ系のA型ゼオライトのようにマイクロチャンネルとケージ構造を形成した新規な細孔性無機結晶である。この物質は極めて高い元素表面露出性が高く、マイクロ細孔性と組み、その効果のため従来の NH₃-SCR 反応触媒を凌駕する触媒性能を発揮した。

本研究での以上のような新しい物質合成の成功により、ユニット合成による全無機細孔性 POM 連結結晶の方法論が確実となり、広く方法論が展開できることから学術的価値は極めて高い。シリカベースのゼオライト化学から飛躍した物質科学、ひいては固体触媒化学の到来が期待される。

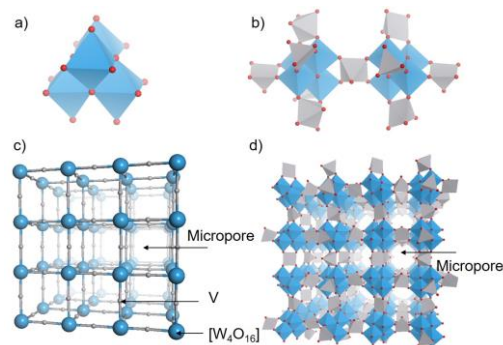


図4 a) [W₄O₁₆]ビルディングユニット、b) V リンカーによるユニット連結、c) 構造模式図、d)結晶構造 (W:青、V:灰、O:赤)

[雑誌論文] (計 23 件)

1. Ultrathin anionic tungstophosphate molecular wire with tunable hydrophilicity and catalytic activity for selective epoxidation in organic media, Z. Zhang, Sadakane, S-I. Noro, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara, W. Ueda, Chem. Eur. J., 2017, 査読有
2. Synthesis of crystalline molybdenum oxides based on a 1D molecular structure and the ion-exchange property, Q. Zhu, Z. Zhang, M. Sadakane, A. Yoshida, M. Hara, W. Ueda, New Journal of Chemistry, 2017, 41, 4503-4509, 査読有
3. Synthesis of Crystalline Microporous Mo-V-Bi Oxide for Selective (Amm)Oxidation of Light Alkanes, S. Ishikawa, Y. Goto, Y. Kawahara, S. Inukai, N. Hiyoshi, N.F. Dummer, T. Murayama, A. Yoshida, M. Sadakane, W. Ueda, Chem. Mat, 2017, 29, 2939-2950, 査読有
4. Synthesis of ϵ -Keggin-type Cobaltomolybdate-based 3D Framework Material and Characterization Using Atomic-scale HAADF-STEM and XANES, T. Igarashi, Z-X. Zhang, T. Haioka, N. Iseki, N. Hiyoshi, N. Sakaguchi, C. Kato, S. Nishihara, K. Inoue, A. Yamamoto, H. Yoshida, N. Tsunoji, W. Ueda, T. Sano, M. Sadakane, Inorg. Chem., 2017, 56, 2042-2049, 査読有
5. All-inorganic porous soft-framework by assembly of metal oxide molecular wires, Z. Zhang, M. Sadakane, S-I. Noro, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara, W. Ueda, Chem. Eur. J., 2017, 23, 1972-1980, 査読有
6. Hydrothermal Synthesis of a Layered-type W-Ti-O Mixed Metal Oxide and its Solid Acid Activity, T. Murayama, J. Hirata, K. Nakajima, K. Omata, E. Hensen, W. Ueda, Catal. Sci. Technol., 2017, 7, 243-250, 査読有
7. Synthesis of ϵ -Keggin-type Cobaltomolybdate-based 3D Framework Material and Characterization Using Atomic-scale HAADF-STEM and XANES, T. Igarashi, Z-X. Zhang, T. Haioka, N. Iseki, N. Hiyoshi, N. Sakaguchi, C. Kato, S. Nishihara, K. Inoue, A. Yamamoto, H. Yoshida, N. Tsunoji, W. Ueda, T. Sano, M. Sadakane, Inorg. Chem., 2017, 56, 2042-2049, 査読有
8. All-inorganic porous soft-framework by assembly of metal oxide molecular wires, Z. Zhang, M. Sadakane, S-I. Noro, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara, W. Ueda, Chem. Eur. J., 2017, 23, 1972-1980, 査読有
9. Hydrothermal Synthesis of a Layered-type W-Ti-O Mixed Metal Oxide and its Solid Acid Activity, T. Murayama, J. Hirata, K. Nakajima, K. Omata, E. Hensen, W. Ueda, Catal. Sci. Technol., 2017, 7, 243-250, 査読有
10. NH₃-efficient ammoxidation of toluene by hydrothermally synthesized layered tungsten-vanadium complex metal oxides, Y. Goto; K.-I. Shimizu, K. Kon, T. Toyao, T. Murayama, W. Ueda, J. Catal., 2016, 344, 346-353, 査読有
11. Acidic Ultrafine Tungsten Oxide Molecular Wires for Cellulosic Biomass Conversion, Z. Zhang, M. Sadakane, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara, W. Ueda, Angew. Chem. Int. Ed, 2016, 55, 10234-10238, 査読有
12. Role of crystalline structure in allyl alcohol selective oxidation over Mo₃V₀x complex metal oxide catalysts, T. Murayama, B. Katrynick, S. Heyte, M. Araque, S. Ishikawa, F. Dumeignil, S. Paul, W. Ueda, ChemCatChem, 2016, 8, 2415-2420, 査読有
13. Hydrothermal Synthesis of W-Ta-O Complex Metal Oxides by Assembling MO₆ (M = W or Ta) Octahedra and Creation of Solid Acid, T. Murayama, N. Kuramata, W. Ueda, J. Catal., 2016, 339, 143-152, 査読有
14. New crystalline complex metal oxides created by unit-synthesis and their catalysis based on porous and redox properties, Z. Zhang, S. Ishikawa, Y. Tsuboi, M. Sadakane, T. Murayama, W. Ueda, Faraday Discussions, 2016, 188, 81-98, 査読有
15. Synthesis of Vanadium-incorporated, polyoxometalate-based open frameworks and their applications for cathode-active materials, Z. X. Zhang, H. Yoshikawa, Z. Y. Zhang, T. Murayama, M. Sadakane, Y. Inoue, W. Ueda, K. Awaga, M. Hara. Eur. J. Inorg. Chem., 2016, 8, 1242-1250, 査読有
16. Hydrothermal synthesis of microporous W-V-O as an efficient catalyst for ammoxidation of 3-picoline, Y. Goto, K.-I. Shimizu, T. Murayama, W. Ueda, Appl. Catal., General A, 2016, 509, 118-122, 査読有
17. Direct Oxidative Transformation of Glycerol to Acrylic Acid over Nb-based Complex Metal Oxide Catalysts, K. Omata, K. Matsumoto, T. Murayama, W. Ueda, Catal. Today, 2016, 259, 205-212, 査読有
18. Ultrathin inorganic molecular nanowire based on polyoxometalates, Z. Zhang, T.

- Murayama, M. Sadakane, H. Ariga, N. Yasuda, N. Sakaguchi, K. Asakura, W. Ueda, Nature commun., 2015, 6, 7731, 査読有
19. Direct Imaging of Octahedral Distortion in a Complex Molybdenum Vanadium Mixed Oxide, T. Lunkenbein, F. Girgsdies, A. Wernbacher, J. Noack, G. Auffermann, A. Yashuhara, A. K-Hoffmann, W. Ueda, M. Eichelbaum, A. Trunschke, R. Schlogel, M. G. Willinger, Angew. Chem. Int. Ed, 2015, 54, 6828-6831, 査読有
 20. Redox treatment of orthorhombic $\text{Mo}_{29}\text{V}_{11}\text{O}_{112}$ and relationships between crystal structure, microporosity and catalytic performance for selective oxidation of ethane, S. Ishikawa, D. Kobayashi, T. Konya, S. Ohmura, T. Murayama, N. Yasuda, M. Sadakane, W. Ueda, J. Phys. Chem., C, 2015, 119, 7195-7206, 査読有
 21. Synthesis of Crystalline Mo-V-W-O Complex Oxides with Orthorhombic and Trigonal Structures and Their Application as Catalysts Catalysis, Structure and Reactivity, C. T. Qiu, C. Chen, S. Ishikawa, T. Murayama, W. Ueda, Catal. Structure and Reactivity, 2015, 2, 71-77, 査読有
 22. Selective Carbon Dioxide Adsorption of ϵ -Keggin type Zincomolybdate based Purely-Inorganic 3D Frameworks, Z.-X Zhang, M. Sadakane, S. Noro, T. Murayama, T. Kamachi, K. Yoshizawa, W. Ueda, J. Mat. Chem. A, 2015, 3, 746-755, 査読有
- [学会発表] (計 23 件)
1. 上田 渉、5.6 族金属酸化物の構造多様性に基づく新触媒機能構築 バイオマス変換触媒研究会講演会, 2018 年
 2. 上田 渉、異次元の固体触媒機能の創出 日本化学会 2018 年
 3. ZHANG Zhenxin、上田 渉、Synthesis of microporous vanadotungstate for selective catalytic reduction of NO 第 121 回触媒討論会, 2018 年
 4. 舘野晴香、上田 渉、置換型タングステン酸化物ナノワイヤーを酸触媒とするセルロースの転換反応 石油学会第 60 回年会(第 66 回研究発表会), 2017 年
 5. 井関直、上田 渉、 ϵ -Keggin 型モリブデートを三次元に連結した新規ポリオキソモリブデート化合物の合成と構造解析 第 124 回触媒討論会, 2017 年
 6. ZHANG Zhenxin、上田 渉、Crystalline microporous transition metal oxide based on vanadotungstate 第 125 回触媒討論会, 2017 年
 7. 坪井雄太、上田 渉、細孔性 ϵ -Keggin 型ポリオキソメタレート触媒への各種金属イオン添加とメタクロレイン酸化活性への影響 第 119 回触媒討論会, 2017 年
 8. 舘野晴香、Sn 添加タングステン酸化物ナノワイヤー触媒によるセルロースの転換反応 第 119 回触媒討論会, 2017 年
 9. Wataru Ueda, Selective oxidation and reaction mechanism over crystalline Mo-based oxide catalyst IV Scientific Conference BORESKOVREADINGS Royal Society of Chemistry Novosibirsk, Russia 2017
 10. Wataru Ueda New porous crystalline complex oxide catalysts synthesized by unit assembly EUROPACAT 13th European Congress on Catalysis, Florence, Italy 2017
 11. Wataru Ueda Structure unit-based design of complex metal oxide catalysts for biomass conversion (Key note Lecture) Green Catalysis by Design Scientific Meeting University of Padova, Italy, 2017
 12. Wataru Ueda New crystalline complex metal oxides created by unit-synthesis and their catalysis based on porous and redox properties Designing New Heterogeneous Catalysts (Faraday Discussion) Royal Society of Chemistry, London, 2016
 13. Wataru Ueda New Crystalline Complex Metal Oxides Created by Unit-synthesis and Their Catalysis Pre-16th ICC International Symposium on Catalytic Conversion of Energy and Resources Seoul, Korea, 2016
 14. Zhang Zhenxin, Acidic transition metal oxide molecular wires for biomass conversion 石油学会第 59 回年会, 2016 年
 15. Zhang Zhenxin, Wataru Ueda, Acidic Ultrafine Transition Metal Oxide Molecular Wires for Cellulosic Biomass Conversion 第 118 回触媒討論会, 2016 年
 16. Zhu Qianqian, Masahiro Sadakane, Wataru Ueda, Synthesis of transition metal oxide nanosheet and its electrochemical 第 118 回触媒討論会, 2016 年
 17. 坪井雄太、石川理史、吉田暁弘、上田 渉、 ϵ -Keggin 構造を基盤とした細孔性ポリオキソメタレートによるメクロレイン選択酸化反応 第 118 回触媒討論会, 2016 年
 18. Wataru Ueda Synthesis and property of new all inorganic 3D porous POM New Insights in Selective Oxidation Catalysis, Electrocatalysis and Catalysis of Biomass (Irsee VII Symposium), Schwabisches Bildungszentrum, Klos, 2015 年
 19. Zhenxin ZHANG, Wataru Ueda, Synthesis

- and characterization of a new ϵ -Keggin polyoxometalate-based fully inorganic microporous crystalline oxide International Symposium on Zeolite and Microporous Crystals 2015 ゼオライト学会, 2015 年
20. Toru Murayama, Wataru Ueda, Microporous and Mesoporous Property of Octahedra based W-M-O (M=Ti, Zr, Nb, Ta) Complex Metal Oxide and their Catalytic Activity as Solid Acid International Symposium on Zeolite and Microporous Crystals 2015 ゼオライト学会, 2015 年
21. Z. Zhang, M. Sadakane, W. Ueda, Ultrathin inorganic Molecular Nanowire based on Transition Metal-oxygen Octahedra NOVACAM midterm assessment meeting in Brussels, 2015

〔図書〕(計 13 件)

1. ポリオキソメタレートユニットの集合による新規機能性酸化物結晶の合成、定金正洋、Z. X. Zhang、上田渉、日本結晶成長学会誌、2017, 44
2. Glycerol as a potential renewable raw material for acrylic acid Production, S. Sato, W. Ueda, Green Chemistry, 2017, 19, 3186-3213
3. Catalysis/Selective Oxidation by Metal Oxides, W. Ueda, Handbook of solid state chemistry, Vol.6 (ed. R. Dronskowski, S. Kikkawa, A. Stein), Wiley, 2017, 393-416
4. 石川理史、村山 徹、上田渉、ゼオライト、2016, 33, 110-120
5. 複合酸化物ナノワイヤの合成と構造解析、村山徹、Z. Zhang, 定金正洋、上田渉、坂口紀史, Nanotech Jap Bull, 2016, 9(3)
6. Glycerol hydrogenolysis into useful C3 chemicals, Sun. S. Sato, W. Ueda, Applied Catalysis B: Environmental, 2016, 193, 75-92
7. Production of C4 and C5 alcohols from biomass-derived materials, D. Sun, S. Sato, W. Ueda, A. Primo, H. Garcia, A. Corma, Green Chemistry, 2016, 18(9), 2597-2016
8. 複雑構造がもたらす複合酸化物の酸化触媒機能、上田渉、CSJ カレントレヴュー, 2016, 21, 74-80
9. Microporous Crystalline Mo-V Mixed Oxides for Selective Oxidations, S. Ishikawa, T. Murayama, W. Ueda, Catal. Sci. & Tech., 2016, 6, 617-629
10. Three-Dimensionally Ordered Macroporous (3DOM) Perovskite Mixed Metal Oxide, M. Sadakane, W. Ueda, Perovskites and Related Mixed Oxides: Concepts and Applications (ed. P. Granger) Wiley, 2015, 113-142

11. Assembly of ϵ -Keggin-Type Polyoxometalates to Form Crystalline Microporous Metal Oxides, Z-X. Zhang, M. Sadakane, W. Ueda, Trends in Polyoxometalates Research (ed. L. Ryhlmann, D. Schamig) NOVA, New york, 2015, Ch. 15, 409-427

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称: 多孔性複合酸化物
 発明者: 上田 渉、張 禎、高光 泰之
 権利者: 神奈川大学、東ソー株式会社
 種類: 特許
 番号: 特願 2018-23912
 出願年月日: 2018 年 2 月 14 日
 国内外の別: 日本国

〔その他〕

<http://apchem2.kanagawa-u.ac.jp/uedalab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 渉 (UEDA WATARU)
 神奈川大学・工学部・教授
 研究者番号: 20143654

(2) 研究分担者

定金 正洋 (SADAKANE MASAHIRO)
 広島大学・工学研究科・准教授
 研究者番号: 10342792

蒲池 高志 (KAMACHI TAKASHI)
 福岡工業大学・工学部・准教授
 研究者番号: 40403951

吉川 浩史 (YOSHIKAWA HIROFUMI)
 関西学院大学・理工学部・教授
 研究者番号: 60397453

野呂 真一郎 (NORO SHINICHIRO)
 北海道大学・地球環境科学研究院・教授
 研究者番号: 70373347

鎌田 慶吾 (KAMATA KEIGO)
 東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授
 研究者番号: 40451801

(3) 連携研究者

吉田 暁弘 (YOSHIDA AKIHIRO)
 弘前大学・地域戦略研究所・准教授
 研究者番号: 30514434

石川 理史 (ISHIKAWA SATOSHI)
 神奈川大学 工学部・特別助教
 研究者番号: 60813350