

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14542

研究課題名(和文)トポタクティック反応を利用した窒化物・酸窒化物の結晶形態制御とその光触媒活性

研究課題名(英文) Morphological control of (oxy)nitrides by using topotactic reactions for photocatalytic application

研究代表者

朝倉 裕介 (Asakura, Yusuke)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：00762006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、可視光応答性の光触媒である酸窒化物の形態制御法を開発し、結晶形態制御による光触媒能向上を目指した。酸窒化物は前駆体酸化物をNH₃気流下などで窒化することにより合成することができる。この窒化反応前後で粒子の形態が残存する物質系に着目し、前駆体の形態を制御・窒化物にその結晶形態を反映させることで、酸窒化物の形態を制御した。主に、窒化反応中に結晶構造が反映するトポタクティックな窒化反応を経て窒化物が形成する物質系に着目しながら、数種の酸窒化物の形態制御に成功した。得られた物質では、従来の合成法で合成するよりも高い光触媒活性を有しているものがあり、形態制御の必要性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸窒化物結晶形態制御による可視光照射下での光触媒活性の向上が望まれてきたが、その合成の未熟さから望んだ形態を得ることができなかった。本研究では、様々な酸化物前駆体の結晶形態制御を達成することで、その形態を反映させ窒化反応後の形態制御に成功した。酸窒化物の結晶形態制御のみならず、酸化物の形態制御手法として学術的価値の高い研究となった。また、酸窒化物の形態制御が可視光応答性光触媒の活性を向上させるということを実証できた。本研究では、光触媒反応としてNO_x分解を利用したが、水分解や二酸化炭素還元反応でも形態制御による活性向上が期待でき、エネルギー問題解決に資する材料として利用できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, morphological control methods for oxynitrides were developed to improve photocatalytic activity. Oxynitrides are generally synthesized by nitridation of oxides. We have focused on the oxynitride formations in which the morphology of the precursor oxides is retained after the nitridation. Several kinds of oxynitrides with controlled morphology were successfully synthesized by tailoring the oxide morphology and subsequently retaining the morphology after nitridation. In some cases, not only morphology but also crystal structure of the oxynitrides reflected those of the precursor oxides. Such nitridation was called as topotactic nitridation. Some of the morphologically controlled oxynitrides possessed higher photocatalytic activity compared with that of the oxynitrides obtained by the previous method, suggesting the morphological control of oxynitrides is effective for improvement of photocatalytic activity.

研究分野：無機合成化学

キーワード：窒化物・酸窒化物 形態制御 光触媒 ナノ粒子 水熱合成

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

遷移金属と窒素あるいは窒素と酸素から構成される窒化物・酸窒化物は、遷移金属化合物にバリエーションを与えるとともに、遷移金属酸化物にはない特徴を有している物質も報告され、光触媒・電気化学触媒・蛍光体など様々な分野で期待されている。特に触媒分野での応用ではエネルギー・環境問題を解決する手段と成りえる。遷移金属酸化物の触媒関連の応用においては、露出結晶面・結晶形態・表面積など表面の状態が非常に重要であることが知られており、その制御に関する研究が多くなされてきた。窒化物・酸窒化物で結晶形態および露出結晶面と触媒能の相関を理解することができれば、触媒設計指針を立てることができ効率的な性能向上が望める。しかし、調査を可能にするために必須である窒化物・酸窒化物粒子の結晶形態制御はほとんど未達成であり、その結晶形態制御は急務であると言える。

2. 研究の目的

本研究では、1) 露出結晶面・結晶形態が制御された酸窒化物の合成手法の確立および、2) 露出結晶面・結晶形態を制御することによる光触媒活性の向上を目的とした。窒化物・酸窒化物は、一般的に前駆体(酸化物または金属)をガス(NH_3 , N_2 など)気流下で高温焼成することによって合成される。そのため、露出結晶面・結晶形態を制御しようとした場合、高温反応中で結晶成長を制御せねばならない。高温での露出結晶面制御やナノ構造化など結晶成長制御は容易ではないため、従来達成しえなかったと考えられる。そこで、前駆体の結晶形態が窒化後に残存する物質系を選択し、前駆体の形態を制御・窒化物にその形態を反映させることで、酸窒化物の結晶形態制御を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、窒化反応前の前駆体の結晶形態を制御し、その形態を反映させた状態で酸窒化物を得ることによって、結晶形態が制御された酸窒化物の合成を目指した。研究開始当初、研究題目にある通り、窒化反応中に結晶構造が反映するトポタクティックな窒化反応を経て窒化物が形成する物質系に着目していたが、得られる窒化物の多様性を考え、窒化反応中に結晶構造が反映しない窒化を経て酸窒化物を形成する物質系についても、酸窒化物の形態制御を試みた。下記、

(1) および (2) については、前者のトポタクティックな窒化反応を経る物質系、(3) は後者の窒化反応中に結晶構造が反映しない物質系についての酸窒化物の形態制御である。

(1) N ドープ $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ および LaTiO_2N ナノ粒子の合成

N ドープの $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ および、ペロブスカイト構造である LaTiO_2N は、可視光応答性の光触媒として期待されている。両者ともに、前駆体である $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ を異なる窒化条件で処理することで合成仕分けができる。そこで、前駆体である $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 形態制御し、窒化反応中に前駆体の形態を保持させ、得られる N ドープ $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ および LaTiO_2N の形態制御を試みた。

(2) $\text{RbLaTa}_2\text{O}_7$ を出発物質とした LaTaON_2 の合成

LaTaON_2 は、650 nm 程度までの光を吸収することが可能であり、可視光応答性の光触媒として期待されている。従来の合成法では、前駆体としての LaTaO_4 の利用¹⁾や Flux 法²⁾による合成が試みられてきた。 LaTaO_4 からの合成ルートでは明確な結晶形態制御が不可能であり、また Flux 法でも等方的な粒子のみが得られてきた。 $\text{RbLaTa}_2\text{O}_7$ が LaTaON_2 と同等なペロブスカイトブロックを有すること、また層状物質由来の板状形態を有していることから、従来では得られない形態および露出結晶面制御を目指し、 $\text{RbLaTa}_2\text{O}_7$ から新規なトポタクティックな反応による LaTaON_2 の合成を検討した。

(3) ガリウム酸窒化物, $\text{GaN}:\text{ZnO}$ 固溶体, $\text{ZnGeN}_2:\text{ZnO}$ 固溶体ナノ粒子の合成

ガリウム酸化物がウルツ鉱型の GaN に転換する際、形態が残存すると報告されていたため³⁾、酸化物からウルツ鉱型酸窒化物へ転換する系に着目した。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 、 ZnGa_2O_4 、 Zn_2GeO_4 は、窒化反応によりそれぞれウルツ鉱型のガリウム酸窒化物、 $\text{GaN}:\text{ZnO}$ 固溶体、 $\text{ZnGeN}_2:\text{ZnO}$ 固溶体へ転換する。そこで、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 、 ZnGa_2O_4 、 Zn_2GeO_4 のナノ粒子を合成し、その形態を残存させた酸窒化物ナノ粒子の合成を試みた。いずれの酸窒化物も可視光を吸収することが知られているため、ナノ粒子化による比表面積の増大による、可視光照射下での光触媒能の向上を目指した。

4. 研究成果

(1) N ドープ $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ および LaTiO_2N ナノ粒子の合成

$\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ 系の層状ペロブスカイトの粒子形態を制御した例は、スプレー法を用いた報告⁴⁾以外存在しない。そこで、 $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の粒子形態制御を試みた。既報⁵⁾を参考に $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の水熱合成法を最適化し、添加物を導入することによる粒子形態制御を試みた。添加物として、トリスヒドロキシメチルアミノメタンあるいはトリエタノールアミンを利用した。添加物を導入した際にも、 $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ がほぼ単相で得られた。得られた試料の TEM 像を確認すると、添加物を入れないときと比較して、著しく粒子径が減少していることが示された。特にトリエタノールアミンを利用した際に効果が大きく、粒子径は均一とは言えないものの、数 10-数 100 nm ほどの粒子径で物質

を得ることができた (図 1a,b)。従来、 $A_2B_2O_7$ 型層状ペロブスカイトの水熱合成による形態制御に関する研究は報告されておらず、初めて見出された形態制御手法である。得られたナノ粒子の窒化条件を検討することで、N-ドープ $La_2Ti_2O_7$ および $LaTiO_2N$ が得られた。N-ドープ $La_2Ti_2O_7$ は前駆体酸化物と同様に形態を有していた (図 1c)。得られた N-ドープ $La_2Ti_2O_7$ は、添加物なく水熱合成で得た $La_2Ti_2O_7$ から合成した物質よりも小さな粒径を有しており、粒径の小さな前駆体酸化物を利用したことにより、酸窒化物の形態の制御に成功したといえる。粒径の小さな N-ドープ $La_2Ti_2O_7$ は、高い光触媒 NO_x 分解能を有しており、形態制御することで高い光触媒活性を取り出すことができた。一方で、 $LaTiO_2N$ は、ナノ粒子状で高い比表面積を有するが、前駆体の形態とは異なり、ファセットを有した形態であった。望んでいたトポタクティクな反応ではなく、一部原子が再配列していることが示唆されるが、従来では見られないファセットを有しているため、今後さらに調査する予定である。

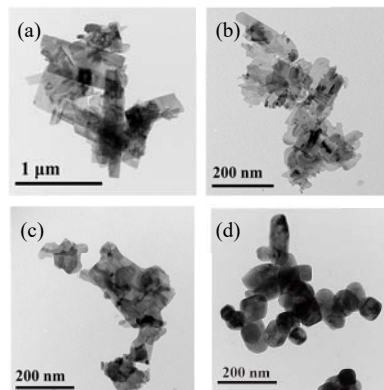


図 1. (a) 添加物なしで水熱合成により得られた $La_2Ti_2O_7$, (b) トリエタノールアミンを添加した水熱合成により得られた $La_2Ti_2O_7$ (TEA-LTO), TEA-LTO から得られた (c) N-ドープ $La_2Ti_2O_7$ および (d) $LaTiO_2N$ の TEM 像

(2) $RbLaTa_2O_7$ を出発物質とした $LaTaON_2$ の合成

$RbLaTa_2O_7$ 層間の Rb^+ を脱離させながら La^{3+} を層間へ導入、同時に一部の酸化物イオンを窒化物イオンへと転換することにより、 $LaTaON_2$ を得ることができ (図 2) と考え、固相合成で合成した $RbLaTa_2O_7$ と $LaCl_3 \cdot 6H_2O$ を混合し、 NH_3 雰囲気中で窒化処理を行った。 $Rb:La$ の比を 1:1 で反応した時は、 $LaTaON_2$ および Ta_3N_5 の形成が確認され、一部 La が不足していることが確認された。そのため、 La 量を増加させ $Rb:La = 1:2$ で反応させた。 Ta_3N_5 の形成が大きく抑制され、極微量の Ta_3N_5 と $LaTaON_2$, $LaOCl$ が形成した。得られた混合物を 1 M HNO_3 中で水熱処理をすることで、 $LaOCl$ のみを溶解させることができ、ほぼ単相の $LaTaON_2$ を得ることに成功した。得られた $LaTaON_2$ の形態を SEM によって観察すると、大部分の粒子が $RbLaTa_2O_7$ の板状形態を保持していることがわかった (図 3)。加えて、電子線回折は、トポタクティクな反応が進行していることを示唆していた。一部に粒子の形態が崩壊している様子は見られるものの、新規のトポタクティク反応の進行が確認でき、板状形態の $LaTaON_2$ を合成することに成功した。今後、光触媒活性を調べることで、本ルートによる合成法の光触媒への影響を調査する。

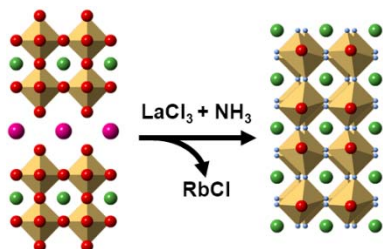


図 2. $RbLaTa_2O_7$ からの $LaTaON_2$ の合成

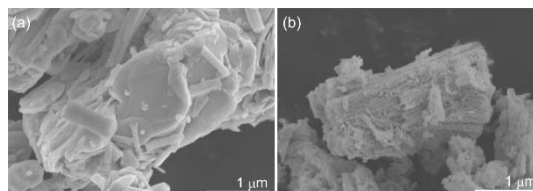


図 3. (a) $RbLaTa_2O_7$ と (b) $RbLaTa_2O_7$ から得られた $LaTaON_2$ の SEM 像

(3) ガリウム酸窒化物, $GaN:ZnO$ 固溶体, $ZnGeN_2:ZnO$ 固溶体ナノ粒子の合成

① ガリウム酸窒化物ナノ粒子の合成

ガリウム酸窒化物のナノ粒子を単純な水熱合成により得ることは難しい。そこで、水熱反応中の結晶成長を抑制するために、水熱合成反応時にナノカーボンの一種であるアセチレンブラックを導入し、結晶成長を抑制した。得られた中間体を焼成することにより、 $\beta-Ga_2O_3$ ナノ粒子を得ることに成功した (図 4a)。窒化反応することによって、ガリウム酸窒化物ナノ粒子へ転換した (図 4b)。得られたガリウム酸窒化物ナノ粒子は、アセチレンブラックを用いず水熱反応を行い窒化したガリウム酸窒化物よりも高表面積を有しており、酸素含有量が多いことも示された。窒化温度と時間は、得られた窒化物の比表面積と酸素含有量に大きく影響しており、窒化温度が高いあるいは窒化時間が長いほど、粒径が大きく比表面積が小さい、かつ酸素含有量が小さな窒化物が得られた。850 °C で 3 時間窒化した試料では、粒子径が前駆体である酸化物ナノ粒子と同等であり、高い比表面積を有していた。また、低結晶性であるものの、酸素含有量が多いことから小さなバンドギャップを有していた。この高表面積および狭いバンドギャップによって、高い可視光応答性光触媒 NO_x 分解能が示され

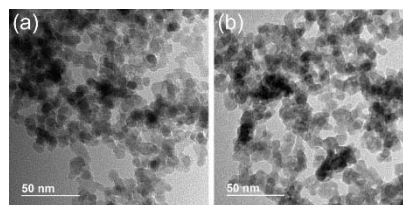


図 4. (a) Ga_2O_3 ナノ粒子および (b) ガリウム酸窒化物ナノ粒子の TEM 像

た。

②GaN:ZnO 固溶体ナノ粒子の合成

ガリウム酸化物のナノ粒子の際と異なり、硝酸酸ガリウム・硝酸亜鉛およびヘキサメチレンテトラミンからなる水溶液を 100 °C で水熱処理することにより、粒径が 5-25 nm ほどの ZnGa_2O_4 ナノ粒子を直接得ることができた。従来、この温度領域で ZnGa_2O_4 のナノ粒子が単相で得られた例はなく、前駆溶液中での金属源濃度が低かったために、単相で ZnGa_2O_4 が得られたと考えている。この得られた ZnGa_2O_4 ナノ粒子を窒化反応することによって、GaN:ZnO 固溶体ナノ粒子が得られた。得られたナノ粒子の粒径は前駆体である ZnGa_2O_4 ナノ粒子よりも増大したものの、まだ 50 nm 以下であり、高比表面積を有する酸窒化物を得ることができた。得られた酸窒化物ナノ粒子は、従来の ZnO と Ga_2O_3 と混合物を窒化することにより得られる GaN:ZnO 固溶体に比して、高い光触媒 NO_x 分解能を有していた。加えて、前駆体 ZnGa_2O_4 ナノ粒子の粒径が小さいことに着目し、 ZnGa_2O_4 粒子からなる透明膜を作製後 (図 5a)、窒化反応することにより、黄色く呈色した透明膜を得ることができた (図 5b)。ブルーライトの一部をカットするフィルターとしての利用が期待できる材料となった。

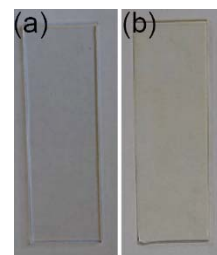


図 5 (a) ZnGa_2O_4 透明薄膜, (b) GaN:ZnO 透明薄膜

③ ZnGeN_2 :ZnO 固溶体ナノ粒子の合成

Zn_2GeO_4 ナノ粒子の合成はほとんど報告がなく、上記の実験と同様に水熱合成時に結晶成長を制御する添加剤を導入することで、ナノ粒子化を試みた。ゲルマン酸ナトリウムと硝酸亜鉛を溶解した水溶液に、トリエタノールアミンを添加し水熱処理することで、粒径 50 nm 程度の Zn_2GeO_4 ナノ粒子 (図 6a) が得られることがわかった。トリエタノールアミンを添加しないで水熱処理した場合には、マイクロオーダーのロッド状粒子が得られるため、トリエタノールアミンが粒子の成長を抑制しナノ粒子化したと考えられる。得られたナノ粒子を NH_3 気流下で窒化すると、前駆体の粒子の大きさがほとんど保持されたまま、 ZnGeN_2 :ZnO 固溶体ナノ粒子へと転換した (図 6b)。この挙動は、上記ガリウム酸窒化物・GaN:ZnO 固溶体の粒子径が増大していく傾向とは異なっている。前駆体酸化物の金属配位数が関係していると考えており、得られるウルツ鉱型と同じ 4 配位の金属のみを有する Zn_2GeO_4 のみが窒化しやすく、粒子の形態変化を抑制しながら酸窒化物へと転換できたと考えている。得られるバルク状の ZnGeN_2 :ZnO 固溶体よりも可視光下および UV 照射下での光触媒活性が高く、ナノ粒子化による光触媒活性の向上を達成することができた。

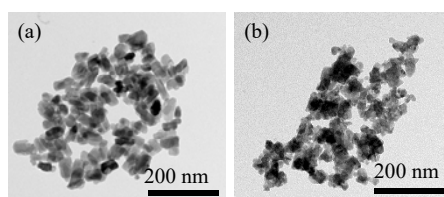


図 6 (a) Zn_2GeO_4 ナノ粒子と (b) ZnGeN_2 :ZnO 固溶体ナノ粒子の TEM 像

加えて、ヘキサメチレンテトラミンを導入して水熱合成して得られたロッド状 Zn_2GeO_4 を窒化反応することで、チューブ状の ZnGeN_2 :ZnO 固溶体も得られることも分かった。電子線回折結果から、窒化反応前後で結晶方位に関係性があり、類似の構造が残存するように窒化することが示唆された。このことと、粒子表面から窒化反応が起きることが相まって、チューブ状へと変化したと考察している。

以上のことから、トポタクティックな反応を経由するか場合と、経由しない場合の両方で、結晶形態の制御をすることができた。また、形態に依存した光触媒活性向上も確認されており、形態制御の有効性を示すことができた。一方で、露出結晶面の合成の仕分けについては、まだ、未達成であり、今後の課題となった。

<引用文献>

- ① M. Liu, W. You, Z. Lei, T. Takata, K. Domen, C. Li, *Chin. J. Catal.* 2006, **27**, 556-558.
- ② J. Zhou, C. Zhou, Z. Shi, Z. Xu, S. Yan, Z. Zou, *J. Mater. Chem. A* 2018, **6**, 7706-7713.
- ③ P. W. Wang, Y. P. Song, X. Z. Zhang, J. Xu, D. P. Yu, *Chin. Phys. Lett.* 2008, **25**, 1038-1041.
- ④ J. Fu, S. E. Skrabalak, *Angew. Chem. Int. Chem.* 2017, **56**, 14169-14173.
- ⑤ K. W. Li, Y. Wang, H. Wang, M. Zhu, H. Yan, *Nanotechnology* 2006, **17**, 4863-4867.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Wang Jingwen, Asakura Yusuke, Yin Shu | 4. 巻 396 |
| 2. 論文標題 Synthesis of zinc germanium oxynitride nanotube as a visible-light driven photocatalyst for NO decomposition through ordered morphological transformation from Zn ₂ GeO ₄ nanorod obtained by hydrothermal reaction | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Hazardous Materials | 6. 最初と最後の頁 122709 ~ 122709 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jhazmat.2020.122709 | 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 Jingwen, Asakura Yusuke, Yin Shu | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Preparation of (Zn _{1+x} Ge)(N ₂ O _x) nanoparticles with enhanced NO _x decomposition activity under visible light irradiation by nitridation of Zn ₂ GeO ₄ nanoparticles designed precisely | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nanoscale | 6. 最初と最後の頁 20151 ~ 20160 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C9NR05244E | 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 Asakura Yusuke, Nishimura Yukiho, Masubuchi Yuji, Yin Shu | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 Utility of ZnGa ₂ O ₄ Nanoparticles Obtained Hydrothermally for Preparation of GaN:ZnO Solid Solution Nanoparticles and Transparent Films | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 1999-2005 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ejic.201900045 | 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 Yusuke Asakura, Yoshiyuki Inaguma, Koichiro Ueda, Yuji Masubuchi, Shu Yin | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Synthesis of gallium oxynitride nanoparticles through hydrothermal reaction in the presence of acetylene black and their photocatalytic NO _x decomposition | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Nanoscale | 6. 最初と最後の頁 1837 ~ 1844 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c7nr07502b | 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 Yusuke Asakura, Yuto Anada, Ryo Hamanaka, Tsugio Sato, Ken-ichi Katsumata, Xiaoyong Wu, Shu Yin | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Multifunctionality in coating films including Nb-doped TiO ₂ and CsxWO ₃ : near infrared shielding and photocatalytic properties | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Nanotechnology | 6. 最初と最後の頁 224001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aab600 | 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 |

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 朝倉裕介 |
| 2. 発表標題 精密無機合成に向けた液相前駆体合成 |
| 3. 学会等名 2019 年度 エンジニアリングセラミックス若手セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 朝倉裕介, 殷しゅう |
| 2. 発表標題 酸窒化物形態制御における酸化物ナノ粒子の有用性 |
| 3. 学会等名 第7回アライアンス若手研究交流会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 朝倉裕介, 殷しゅう |
| 2. 発表標題 酸化物ナノ粒子を出発物質とした酸窒化物の形態制御 |
| 3. 学会等名 令和元年度プロセス研究会 第3回講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jingwen Wang, Takuya Hasegawa, Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Hydrothermal synthesis of nanocrystalline La ₂ Ti ₂ O ₇ by the addition of triethanolamine and their conversion to N-doped La ₂ Ti ₂ O ₇ and LaTiO ₂ N |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 J. Wang, Y. Asakura, S. Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis of Morphology-controlled (Zn _{1+x} Ge)(N ₂ O _x) Solid Solutions with Enhanced Photocatalytic Activity for NO _x Decomposition |
| 3. 学会等名 TU-USTB Joint Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis of Nanostructured Nitrides by Nitridation of Precursors Designed Precisely |
| 3. 学会等名 2019 International Conference on Nanospace Materials (ICNM 2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 ASAKURA, Yusuke; YIN, Shu |
| 2. 発表標題 Utility of Oxide Nanoparticles for Morphological Control of Wurtzite Oxynitrides |
| 3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference on Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jingwen Wang, Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Morphology-controlled Synthesis of Zinc Germanium Oxynitride and its High Photocatalytic NO _x Decomposition Activity under Visible Light Irradiation |
| 3. 学会等名 The 5th International Conference on Advanced Electromaterials (ICAE 2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yukiho Nishimura, Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis and Characterization of GaN:ZnO Film for Blue-light Cut Filter |
| 3. 学会等名 The 5th International Conference on Advanced Electromaterials (ICAE 2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jingwen Wang, Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis of Zinc Germanium Oxynitride with Nanotube Morphology by Nitridation of Zn ₂ GeO ₄ Nanorod and its Photocatalytic Activity |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 朝倉裕介, 植田紘一郎, 稲熊宜之, 殷しゅう |
| 2. 発表標題 Dion-Jacobson 型層状ペロブスカイトの窒化反応によるペロブスカイト型酸窒化物 LaTaO _N 2 の合成 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 朝倉裕介, 殷しゅう |
| 2. 発表標題 Synthesis of Nanostructured Oxynitrides and their Functions |
| 3. 学会等名 平成30年度 化学系学協会東北大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jingwen Wang, Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Zinc Germanium Oxynitride with Various Nanostructures Synthesized through Hydro/solvothermal Reaction |
| 3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Gallium-based Oxynitride Nanoparticles and their Photocatalytic Activity |
| 3. 学会等名 14th International Ceramics Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 朝倉裕介, 殷シュウ |
| 2. 発表標題 ガリウムオキシナイトライドナノ粒子の合成とその光触媒活性 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 穴田 柚冬, 朝倉 裕介, 勝又 健一, 殷 シュウ |
| 2. 発表標題 Cs _{0.33} WO ₃ /Nb-TiO ₂ 複合膜の合成とそのマルチ機能性 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Gallium Oxynitride Nanoparticles for Visible-Light Responsive Photocatalytic DeNO _x |
| 3. 学会等名 The 3rd International Conference on Nanoenergy and Nanosystems (NENS 2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis of Gallium Oxynitride nanoparticles by Solution Process |
| 3. 学会等名 International Mini-Symposium on Environmental Harmony Materials (ISEHM2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Asakura, Shu Yin |
| 2. 発表標題 Synthesis of Gallium Oxynitride nanoparticles with Visible-Light Photocatalytic Activity through Hydrothermal Reaction under a Presence of Acetylene Black |
| 3. 学会等名 19th International Symposium on Eco-Materials Processing and Design (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学多元物質科学研究所殷研究室ホームページ
<http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/yin/>

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|