

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05076

研究課題名(和文) 水素吸脱着機能を有するアモルファスSiAlCNの創製と触媒反応場としての応用

研究課題名(英文) Synthesis and characterization of amorphous SiAlCN with reversible hydrogen adsorption-desorption properties and application as a catalytic reaction field

研究代表者

岩本 雄二 (Iwamoto, Yuji)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40399598

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本事業で構築したポリマープレカーサー法を用いて、アモルファスSiAlN, MSiBN (M = アルカリ金属)、および遷移金属ナノ粒子分散アモルファス窒化ケイ素複合材料を合成し、これらの材料の化学組成と多孔質構造に依存した水素親和性やCO₂吸着特性を系統的に評価解析した。その結果、従来の酸化物系とは異なった、高温水素の吸着脱着特性が見出され、これらの新規材料の水素化反応触媒としての応用の可能性が示された。また、アンチペロブスカイトナイトライドナノ粒子分散アモルファス窒化ケイ素の合成にも成功し、CO₂吸脱着特性の温度依存性などの特性評価においても興味深い知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来報告例の無い典型元素のみで構成されたアモルファス窒化ケイ素系材料を対象に、化学的手法に基づく無機材料の設計と合成により、酸・塩基双方の性質を打ち消し合うことが無く、両者の協同による触媒機能発現が期待されるフラストレイティドリスベア(FLP)を材料の部分構造に導入することで、水素吸脱着機能発現に成功した。また、この合成研究を通じて、100 Å以上で水素やCO₂の吸着機能を有する新規なアモルファス窒化ケイ素系ナノ複合材料を見出した。これらの成果は、喫緊の課題であるカーボンニュートラル社会の構築に有効な新規水素化反応触媒等としての応用が期待されることから、その社会的意義も高い。

研究成果の概要(英文)：Novel amorphous silicon aluminum nitride (SiAlN), alkali metal cation-doped amorphous silicon boron nitride (Na-SiBN) compounds were synthesized through the Polymer-Derived Ceramics (PDCs) route. The active H₂-adsorption site in the SiAlN was suggested as a pseudo-3-fold coordinated Al-N component, while the frustrated Lewis acid-base component: =B-N-Na⁺ was suggested for the Na-SiBN compounds.

Further synthesis study of polymer-derived amorphous silicon nitride (a-SiN)-compounds led to the following findings: Low-temperature formation of Ni nanocrystallites embedded within a-SiN matrix (Ni/a-SiN) which exhibited lower activation energy for H₂-desorption compared with conventional Ni/a-SiO₂, and formation of anti-perovskite Ni₃InN nanocrystallites embedded within a-SiN matrix which showed unique CO₂-adsorption-desorption properties. These results revealed their potential application as a catalyst for the hydrogenation of small molecules such as CO₂.

研究分野：無機材料科学

キーワード：水素 水素貯蔵 アモルファス ポリマープレカーサー ナノコンポジット

1. 研究開始当初の背景

近年の地球温暖化による深刻な社会問題への対応として、温暖化ガスである二酸化炭素(CO₂)の排出抑制に対する社会ニーズの高まりを受けて、水素をクリーンエネルギーに利用した社会の構築に資する新たな機能材料の創製と水素エネルギーシステムの開発研究が活発化している。水素製造においては、従来のCO₂の副生を伴う化石燃料からの製造に対して、CO₂の排出抑制に有効な新たな製造方法として、太陽光を利用した光触媒を用いた水の分解、あるいは太陽光発電を利用した水の電気分解等の研究が進められている。また、これらのクリーンな水素を利用したCO₂を炭化水素へ高効率で変換可能な水素化反応触媒の開発を通じて、合成炭化水素を化学製品の原料やエネルギーとしての利用することで、カーボンニュートラルに資する人工光合成プロセスの開発が進められている。

2. 研究の目的

ナノシートやナノチューブ等の特異なナノ構造に制御されたp-族化合物に対して予想されている水素解離吸着機能発現は、酸・塩基双方の性質を打ち消し合うことが無く、両者の協同による触媒機能発現が期待されるフラストレーテッド・ルイスペア(FLP)を活性サイトとしていることが推察される。しかし、これらの材料系は本質的に不安定であり、例えば高い水素解離吸着機能発現が予想されるAlNは、その結晶構造内においては飽和した4配位構造を取って安定化することで不活性となっている。そこで、本研究では、FLPとして不飽和Al-N結合をアモルファス窒化ケイ素(α -SiN)ネットワークに導入することで、材料としての安定性を確保することが期待できるアモルファスSiAlNを研究対象材料系として、ポリマープレカーサー法による合成と、触媒反応場として応用が可能な新規機能材料としての有用性を明らかとすることを目的とした。また、対象材料系を拡大してM1SiM2N系(M1:遷移金属および貴金属以外、M2:第13族元素)の新規合成と水素親和機能の評価・解析を進めるとともに、ポリマープレカーサー法で合成可能なアモルファス窒化ケイ素系ナノ複合材料にも着目して、水素エネルギー分野への応用に資する新規水素親和性材料の創製を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、市販のケイ素系有機無機ハイブリッドポリマーを出発原料として、これを種々の有機金属モノマーで化学改質して得られる多元素系ポリマーをセラミックス前駆体として、これを不活性ガスあるいはアンモニア(NH₃)雰囲気下で熱分解して目的とするアモルファス材料へ変換した。アモルファスSiAlNの合成では、出発原料ポリマーにはポリシラザン(PSZ)を用いた。PSZをアランN,N-ジメチルエチルアミンで化学改質してSiAlN系プレカーサーを合成した。プレカーサーの化学構造、および無機材料への変換過程は、FT-IRおよびNMR等のスペクトルで解析した。得られた無機材料は、XRDによる結晶相の同定、窒素(N₂)ガス吸脱着法による多孔質構造評価、TPR/TPDプロファイル測定による水素(H₂)およびCO₂ガス吸脱着特性評価を実施した。また、材料のナノ構造は電気顕微鏡観察で解析するとともに、ガス吸着活性サイトは、NMR、XPSおよびラマンスペクトル等で解析した。

4. 研究成果

様々なAl/Si比(Al/Si = 0, 0.1, 0.2, 0.33)で合成したポリマーのFT-IRスペクトル解析より、Al/Si比の増加に伴いN-Hに帰属されるピークの顕著な減少と、ビニル基に帰属されるピークの僅かな減少が確認されたことから、Al-N結合がポリシラザンネットワーク中に分子レベルで導入されたことを確認した。そこでAl/Si比=3のAl-modified PSZをNH₃雰囲気下、1000℃で熱分解して無機SiAlNへ変換し、X-ray amorphousであることを確認した(図1(a))。透過型電子顕微鏡

(TEM)で微細構造観察を行なった結果、制限視野電子回折(SAED)パターンからもアモルファスであることを確認され(図 1(b))、Al が分子レベルでアモルファス窒化ケイ素ネットワーク中に導入されたことを確認した。

アモルファス SiAlN の N₂ 吸脱着測定を -196 °C で実施したところ、I 型+IV 型の N₂ 吸脱着等温線を示し(図 2(a))、細孔分布評価から 1~4 nm のマイクロ・メソ細孔を有することが確かめられた(図 2(b), (c))。算出された BET 比表面積は 165 m² g⁻¹ であり、高い比表面積を有することが明らかとなった。一方、Al フリーなアモルファス窒化ケイ素(SiN)ではこのような多孔質構造が保持されていない(図 2(a))ことから、アモルファス SiAlN において特有の細孔形成が起きていることが示唆された。

EDS および XPS による表面分析結果より、アモルファス SiAlN は大気中の水分を吸着しやすいことが分かった。そこで、アモルファス SiAlN のガス吸脱着機能発現の評価を進めるにあたり、前処理として不可性または真空下、所定の温度で加熱処理した。

図 3 には、ピリジンを探プローブ分子とする FTIR スペクトルのその場測定による酸点の評価結果を示す。ルイス酸に帰属されるピーク(Py-L)¹⁾が検出されることを確認した。従って、水素のヘテロリシスに必要な構成要素である、ルイス塩基点(アモルファス窒化ケイ素マトリックスの窒素のローンペア)に加えて、ルイス酸点がその場形成されていることが分かった。

図 4(a)にはアモルファス SiAlN の水素処理なし(点線)、100 °C 水素処理後(破線)、および 150 °C 水素処理後(実線)の TPD カーブを示している。水素処理を行わない場合は特徴的な脱離ピークは得られない。一方、100 °C 以上の水素処理後には約 190 °C をピークとするブロードな TPD スペクトルが得られた。また、その脱離ピークは同時測定の質量分析から、水素(m/z = 2)であると同定された(図 4(b))。さらに脱離ピークの強度は水素処理温度が増加するに伴って増加していることから、本

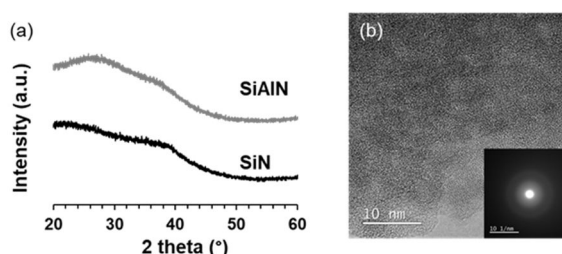


図 1 アモルファス SiAlN の構造解析: (a) X 線回折パターン, (b) TEM 像および SAED パターン

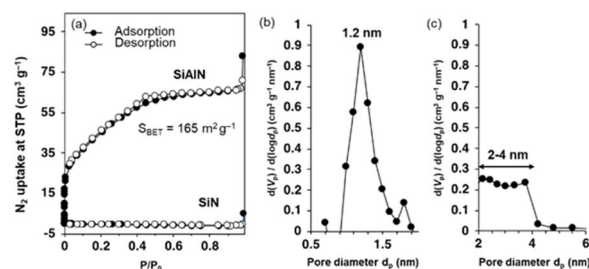


図 2 アモルファス SiAlN の -196 °C における窒素吸脱着測定: (a) 窒素吸脱着等温線, (b) MP 法および(c) BJH 法により解析された細孔径分布

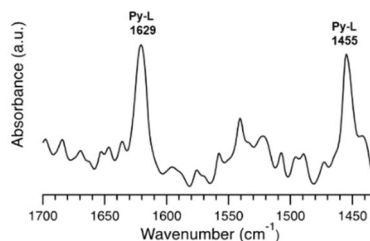


図 3 ピリジンを探プローブ分子としたその場 FT-IR スペクトル測定により存在が確認されたアモルファス SiAlN の酸点

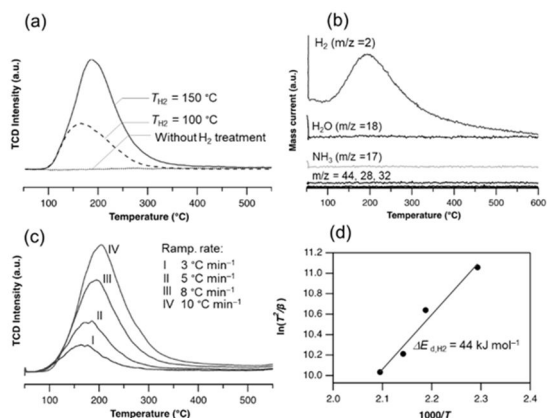


図 4 アモルファス SiAlN の (a) 水素処理後の Ar 雰囲気下での昇温脱離スペクトル, (b) 150 °C 水素処理後の昇温脱離測定時における MS 同時解析, (c) 様々な昇温速度での昇温脱離スペクトル(水素処理温度 = 150 °C), (d) Redhead 解析に基づいたアレニウスプロット

材料への水素吸着は高温ほど起こりやすく、水素が化学吸着していることを示唆している。そこで、水素処理温度を 150 °C とし、昇温速度を変えて得られる TPD スペクトル (図 4 (c)) から、Redhead 法に基づいて得られる次式を用いてアレニウスプロットを取り²⁾、水素脱離の活性化エネルギーを評価した (図 4 (d))、

$$\ln \frac{T_{Peak}^2}{\beta} = \frac{E_{de}}{RT_{Peak}} + \ln \frac{E_{de}}{\nu R \theta_0} \quad (1)$$

ここで、 T_{Peak} は、TPD スペクトルのピーク温度(K)、 β は昇温速度(K min⁻¹)、 E_{de} は脱離の活性化エネルギー(kJ mol⁻¹)、 R は気体定数(0.008314 kJ K⁻¹ mol⁻¹)、 ν は頻度因子、 θ は被覆率である。計算された活性化エネルギーは約 44 kJ mol⁻¹ であり、化学吸着と考えるに十分な値を持つことから、アモルファス SiAlN への水素吸着は化学吸着であると判断した。

アルミニウム周辺の局所構造変化と水素吸着・脱離の関係性を明らかにするために、水素処理前後での ²⁷Al MAS-NMR を用いて Al 周辺の局所構造を詳しく調べた (図 5(a))。得られたブロードなピークを波形分離すると、95ppm の 4 配位 AlN_{4-x}L_x ユニットおよび 65 ppm の 5 配位 AlN_{5-x}L_x ユニットに帰属されるピークが観測された。また、マイナーピークとして 35 ppm に Highly distorted な 6 配位ピーク、5 ppm に 6 配位 Al のピークがそれぞれ観測された。水素処理前後の ²⁷Al MAS-NMR スペクトルの変化を図 5 (b) に示す。150 °C で 6 時間水素処理を行なったところ (PTSiAlNH₂) 65 ppm の 5 配位ピークが増加することが確認された。続いて、PTSiAlNH₂ を 450 °C、1 時間 Ar 雰囲気後処理したところ (PTSiAlNH₂Ar) 65 ppm の 5 配位ピークが減少し、水素処理前後での 5 配位 Al 周辺のローカル構造が変化することが明らかとなった。一方、水素処理前後で 95 ppm および 35 ppm に検出されるサイトは変化しないことから、水素の化学吸着により 5 配位となる水素活性なサイトは、NMR で観測されない NMR-invisible なサイトであると推定した³⁾。

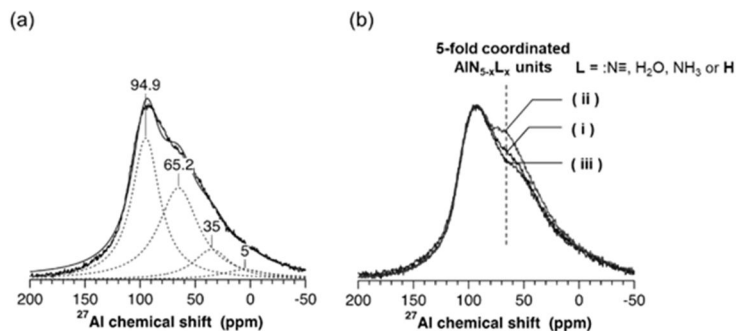


図 5 ²⁷Al MAS-NMR を用いたアモルファス SiAlN の水素処理前後の局所構造解析: (a) 450°C, Ar 雰囲気前処理をした SiAlN(PTSiAlN)の ²⁷Al MAS-NMR スペクトル (b) PTSiAlN に対する水素処理後および水素脱離処理後の ²⁷Al MAS-NMR スペクトル; (i) PTSiAlN; (ii) 150 °C で 6 時間水素処理後 (PTSiAlNH₂); (iii) 150°C 水素処理後、続けて 450 °C で 1 時間, Ar 雰囲気下熱処理後 (PTSiAlNH₂Ar)

アモルファス SiAlN の触媒反応場としての応用の可能性を調べるために、アモルファス SiAlN 上での CO₂ の水素化反応を検討した。400 °C での CO₂ および CO₂-H₂ の混合ガス(1:4)での前処理を行った後、Ar 雰囲気下で TPD スペクトルを取得した。CO₂(m/z=44)の MS 分析結果(図 6(a)) を解析した結果、CO₂ のみの前処理では、50 °C 付近での低温で非常にブロードなピークが現れ、僅かに物理吸着した CO₂ の脱離であると考えられた。一方、400 °C で水素と CO₂ の混合ガスを処理した場合には、50 °C のピークに加え、400-600 °C で新たな CO₂ の脱離ピークが観測された。この温度領域は CO₂ が水素化されたギ酸(HCOOH)や formate(HCOO⁻)の熱分解温度と

一致したことから、アモルファス SiAlN 上で CO₂ の水素化反応が進行した結果であると結論付けられた。そこで、図 6(b) に示した CO₂ の水素化反応機構を提案した³⁾。CO₂ の水素化過程では、まず前述の議論のように擬 3 配位 Al ユニットが水素化される。ここで水素は、Al-N ペアサイトによりヘテロに分極することから、水素分子に生じる双極子モーメントに誘起される双極子相互作用(dipole-induced-dipole interaction)により水素と CO₂ との相互作用が可能となり、水素化反応が進行してギ酸（および formate）が生成すると考えられる³⁾。

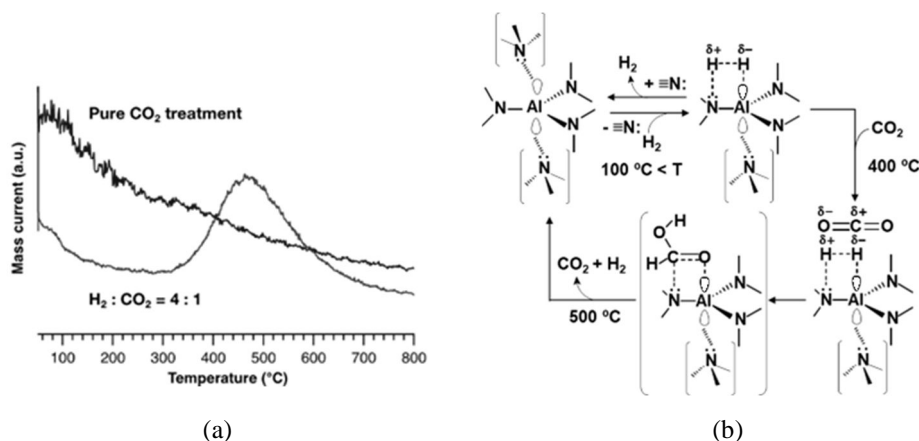


図 6 アモルファス SiAlN 上での CO₂ 水素化反応:(a) 水素化反応後 CO₂ の TPD-MS スペクトル(水素化反応条件:400 °C, 純 CO₂ または CO₂:H₂ = 1:4 混合ガスで 30 分間反応), (b) アモルファス SiAlN 上における CO₂ 水素化の推定反応機構

以上、本研究ではポリマープレカーサー法により、不飽和な Al-N ペアサイトを擬 3 配位 Al としてリジッドなアモルファス窒化ケイ素ネットワーク中に導入することに成功した。合成したアモルファス SiAlN は 150 °C 以下という低温で水素を可逆的に化学吸着することが可能であり、さらに CO₂ の水素化も可能であることから、今後、典型元素からなるメタルフリーな水素化反応触媒としての応用が期待される。また、ポリマープレカーサー法を駆使することで、高温水素吸着機能を有す SiNaBN 系材料を見出した。さらに、報告例のない Co⁴⁾, Ni⁵⁾ ナノ粒子や、アンチペロブスカイトナイトライドナノ結晶粒子が高分散したアモルファス窒化ケイ素系ナノ複合材料の低温合成が可能であることも見出された。これらの材料は、比較対象とした合成評価した酸化物系マトリックス^{6,7)} 系材料とは異なった高温水素、あるいは CO₂ の吸脱着特性を有していることが分かった。以上より、本件研究で得られた成果は、新たな窒化物系無機材料科学の構築と、将来のクリーンエネルギー社会の構築に必要不可欠となる、水素を利用したクリーンエネルギー創製技術の構築に資するものと期待される。

引用文献

- 1) Y. Li et al., *J. Phys. Chem. B*, **108**, 9739–9744 (2004)
- 2) E. Tal-Gutelmacher, et al. *Mater. Sci. Eng. A*, **445–446**, 625–631 (2007)
- 3) S. Tada et al., *J. Mater. Chem. A*, **9**, 2959–2969 (2021)
- 4) S. Tada, et al., *Chem. Commun.*, **57**, 2057-2060 (2021).
- 5) N. Asakuma et al., *nanomaterials*, **12**, 1644 (2022).
- 6) S. Tada et al., *materials*, **13**, 5345 (2020)
- 7) S. Tada et al., *Inorg. Chem. Front.*, **8**, 90-99 (2021)

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 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 N. Asakuma, S. Tada, E. Kawaguchi, M. Terashima, S. Honda, R. K. Nshihora, P. Carles, S. Bernard, and Y. Iwamoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Mechanistic Investigation of the Formation of Nickel Nano-crystallites Embedded in Amorphous Silicon Nitride Nano-composites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1644
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano12101644	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 S. Tada, N. Asakuma, S. Ando, T. Asaka, Y. Daiko, S. Honda, M. Haneda, S. Bernard, R. Riedel and Y. Iwamoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Hydrogen chemisorption properties of novel metal-free inorganic compound: exploring Lewis acid-base Al-N pair site formed in-situ within polymer-derived ceramics based on the silicon-aluminum-nitrogen-based system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. A	6. 最初と最後の頁 2959-2969
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0TA10271G	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 S. Tada, S. Saito, A. Mori, H. Mizuno, S. Ando, T. Asaka, Y. Daiko, S. Honda, S. Bernard and Y. Iwamoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Reversible Redox Property of Co(III) in Amorphous Co-doped SiO ₂ / -Al ₂ O ₃ Layered Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 materials	6. 最初と最後の頁 5345
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma13235345	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 S. Tada, S. Ando, T. Asaka, Y. Daiko, S. Honda, S. Bernard and Y. Iwamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Hydrogen transport property of polymer-derived cobalt cation-doped amorphous silica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorg. Chem. Front.	6. 最初と最後の頁 90-99
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0QI01035A	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 S. Tada, M. D. Mallmann, H. Takagi, J. Iihama, N. Asakuma, T. Asaka, Y. Daiko, S. Honda, R. K. Nishihora, R. A. F. Machado, S. Bernard and Y. Iwamoto	4. 巻 57
2. 論文標題 Low temperature in-situ controlled growth of cobalt in silicon nitride toward functional nitride nanocomposites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 2057-2060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cc07366k	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

[学会発表] 計12件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 N. Asakuma, S. Tada, E. Kawaguchi, M. Terashima, S. Honda, S. Bernard, and Y. Iwamoto
2. 発表標題 Facile Formation of Nickel Nanocrystallites Embedded in Amorphous Silicon Nitride towards Catalytic Applications
3. 学会等名 The 46th International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites (ICACC '22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Tada, S. Bernard, R. Riedel and Y. Iwamoto
2. 発表標題 Novel hydrogen chemisorption properties of polymer-derived amorphous SiAlN compounds
3. 学会等名 The 46th International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites (ICACC '22) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 朝熊紀文、多田翔太郎、本多沢雄、Bernard Samuel、岩本雄二
2. 発表標題 ポリマーブレカカーサー法によるニッケルナノ粒子分散アモルファス窒化ケイ素の低温合成
3. 学会等名 第60回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Tada, Y. Daiko, S. Honda, S. Bernard, Y. Iwamoto
2 . 発表標題 Hydrogen transport properties of polymer-derived cobalt cation-doped amorphous silica
3 . 学会等名 14th PACIFIC RIM CONFERENCE ON CERAMIC AND GLASS TECHNOLOGY (PACRIM 14) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Yang, J. Iihama, D. Daiki, A. Asaka, Y. Daiko, S. Honda, S. Bernard, Y. Iwamoto
2 . 発表標題 Novel Polymer derived Beta-SiAlON:Eu ²⁺ green phosphors
3 . 学会等名 14th PACIFIC RIM CONFERENCE ON CERAMIC AND GLASS TECHNOLOGY (PACRIM 14) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Iwamoto
2 . 発表標題 Novel H ₂ -Triggered Chemical Valve Property of Co-doped Amorphous SiO ₂ / -Al ₂ O ₃ -Layered Composite Membranes
3 . 学会等名 14th PACIFIC RIM CONFERENCE ON CERAMIC AND GLASS TECHNOLOGY (PACRIM 14) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Tada, Y. Daiko, S. Honda, S. Bernard, and Y. Iwamoto
2 . 発表標題 Reversible Redox Property of Co (III) in Amorphous Co-doped SiO ₂ / -Al ₂ O ₃ Layered Composites
3 . 学会等名 INTERNATIONAL CONFERENCE OF SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY 2021 (ISET2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Iwamoto
2. 発表標題 Polymer-Derived Ceramic-Based Materials for Clean Energy Applications
3. 学会等名 INTERNATIONAL CONFERENCE OF SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY 2021 (ISET2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田 翔太郎、大幸 裕介、本多 沢雄、BERNARD Samuel、岩本 雄二
2. 発表標題 ポリマープレカーサー法により合成される13-15 属非酸化セラミックスの新規水素親和特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Iwamoto, S. Tada, N. Asakuma, S. Bernard.
2. 発表標題 Polymer-Derived Functional Ceramics for Clean Energy Applications
3. 学会等名 Recent Advances in Precursor Derived Ceramics: Innovations and Translational Research (PDC-IT) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Asakuma, S. Tada, S. Honda, T. Asaka, T. Tamura, Y. Iwamoto
2. 発表標題 The effect of catalytic support on the adsorption/desorption properties between nickel and hydrogen
3. 学会等名 第61回セラミックス基礎科学討論会, (国際セッション) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Asakuma, S. Tada, E. Kawaguchi, M. Terashima, S. Honda, S. Bernard and Y. Iwamoto
2. 発表標題 Mechanistic Investigation of the Formation of Transition Metal Nanocrystallites Embedded in Amorphous Silicon Nitride Nanocomposites
3. 学会等名 The Materials Science & Technology2022 (MS&T22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 多田 翔太郎, 朝熊紀文, 岩本雄二	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社テクノプラザ	5. 総ページ数 7
3. 書名 セラミックデータブック2021/22、アモルファスSiAlN系セラミックスの水素化学吸着機能発現	

1. 著者名 Y. Iwamoto, G. Motz, E. Ionescu, S. Bernard	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ELSEVIER	5. 総ページ数 10
3. 書名 Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses 2021,1 “Preceramic Polymers as Precursors of Advanced Ceramics: The Polymer-Derived Ceramics (PDCs) Route”	

1. 著者名 朝熊紀文, 多田 翔太郎, 岩本雄二	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社テクノプラザ	5. 総ページ数 6
3. 書名 セラミックデータブック2022/23、ポリマープレカーサー法によるNiナノ粒子分散アモルファス窒化ケイ素の低温生成機構	

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋工業大学岩本研究室ホームページ
<http://chempro.web.nitech.ac.jp/>

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	本多 沢雄 (HONDA SAWAO) (50301221)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13903)	

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			
フランス	リモージュ大学	IRCER/CNRS		
ドイツ	ダルムシュタット工科大学			