

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04308

研究課題名（和文）ナノ凹凸構造を利用した物理的固体蓄電体の創製と環境調和型エネルギー開発への貢献

研究課題名（英文）Preparation of physical solid-state capacitors using nano-scale unevenness surface structure and their applications to environment-conscious energy systems

研究代表者

橋田 俊之（Hashida, Toshiyuki）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40180814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、アモルファスアルミナにより構成する物理的固体蓄電体を対象として、蓄電体リボンの作製法、蓄電メカニズム解明、積層体作製に関する検討を行っている。これにより、蓄電性能の最適化のためのナノ凹凸寸法、形状に関する知見、ならびにその陽極酸化法を用いた作製方法を提供している。また、陽極酸化によりAlO₆クラスターが形成されることで蓄電現象が生じていることを明らかにし、O原子とその隣接Al原子の欠陥近傍に孤立電子が出現し、これが静電誘導により正電荷を誘発し電子を吸着する機構が発生することを見出している。さらに、蓄電体の積層化のためのスパッター法などの電極作製法に関する有用な知見を提供している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの増大が緊急の課題であるものの、その開発のボトルネックが相当容量の蓄電システムが未だ構築されていないことである。従来のリチウムイオン2次電池等の蓄電体は、その大きな原子質量のため応答性は低くかつ耐電圧も4Vまでである。また電解質に溶液を使用しているため、液漏れに起因する事故が発生するなど、安全・安心の観点からも課題がある。本研究の成果は、化学的イオン移動の原理から脱却し、物理的な電子の吸着・脱着に基づく電子自体の直接移動・貯蔵を利用した固体蓄電体を開発した点にある。これにより、蓄電体の耐電圧性、応答速度、電解質の液漏れなどの従来の蓄電池の課題を克服する方法を提供した。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on physical solid-state accumulators composed of amorphous alumina, and examines the fabrication method of the accumulator ribbons, elucidation of the accumulator mechanism, and fabrication of laminate structures. The results of this study provide knowledge on the dimensions and shapes of nano-convexity for optimizing the energy storage performance, and a fabrication method using an anodic oxidation method. The research also clarified that the energy storage phenomenon is caused by the formation of AlO₆ clusters by anodic oxidation, and found that isolated electrons appear in the vicinity of defects between O atoms and adjacent Al atoms, which induce a positive charge by electrostatic induction and generate a mechanism for adsorbing electrons. Furthermore, the paper provides useful knowledge on electrode fabrication methods such as the sputtering method for stacking capacitors.

研究分野：材料工学

キーワード：量子物理的固体蓄電体 アモルファスアルミナ ナノ凹凸構造 環境調和エネルギー 陽極酸化 応答速度 耐電圧特性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギー等から構成する環境調和型システムの構築において、エネルギー生成・貯蔵・輸送・平準化等の広範な分野において革新的役割を演ずるのが蓄電技術である。代表的な蓄電体は、リチウムイオン二次電池等であり、化学的イオン移動を利用している。そのため、リチウムなどの大きな原子質量のため応答性や耐電圧の点で課題があった。実用上は高電圧、高電流に加えて1/100秒以下の高速充電機能を有する蓄電体が求められているものの、これまで未達成であった。また電解質に溶液を使用しているため、使用可能温度は室温近辺に限定されるとともに、液漏れに起因する事故の発生がしばしば経験されている。本研究は、電子の移動現象に基づく量子固体蓄電体を開発し、上述した課題を克服しようとするものである。

2. 研究の目的

本研究は、近年に発見したナノ凹凸表面構造を活用した新規な物理的固体蓄電体の充放電特性を向上させ、本原理を用いた実用的蓄電システムの構築が可能であることを明示することを目的とする。太陽光や風力等の再生可能エネルギーを持続的に開発するためには、相当容量の蓄電システムが必須であり、ナノ凹凸表面構造を特徴とする本物理的固体蓄電体は、当該分野において新しい蓄電原理に加えて実用的な蓄電性能の観点からもブレークスルーを与えるものである。本研究では、アルミ基アモルファス酸化物に焦点を当て、蓄電体の作製法開発、蓄電原理の解明、積層化法に関する検討を行う。これにより、本物理的蓄電体の環境調和型エネルギー開発における実用的応用への礎を構築する。

3. 研究の方法

蓄電体要素の作製と微細構造観察に関する以下の研究を行い、物理的固体蓄電池創成のための基盤を構築する。具体的には以下の研究(1)、(2)、(3)を実施する。

研究(1) アモルファスリボンの作製とナノ凹凸表面構造の形成

これまでの研究により、ナノサイズ凹凸表面が蓄電機能を発現するためには、出発素材が完全なアモルファス合金でなくては形成できないことを見出している。そのため、急冷凝固法によりAl基アモルファス合金の箔帯(以降リボンと呼ぶ)を作製する。液体超急冷装置を用いて、Heガス雰囲気中、周速6000rpmの条件でリボンを作製する。なお、幅10mmで長さ50mmの寸法のリボンを作製する。ナノサイズの凹凸表面を形成するために陽極酸化法を適用する。溶媒には炭酸ガスのナノバブル水を添加した硫酸水溶液を用いる。陽極酸化における溶媒濃度、温度、電圧が表面凹凸寸法・形状ならびに蓄電性能に及ぼす影響について系統的な調査を行う。なお、陽極酸化時間については、電流値計測に基づき最適制御を行う。

研究(2) リボンのナノ形状・構造解析と物理的蓄電のメカニズム解明

作製したAl基アモルファス合金リボンについて、SEMならびにAFMを用いて表面に形成された凹凸形状を観察する。また、核磁気共鳴分析や広域X線吸収微細構造解析によりAl-Oボンド長、配位数、結合角等のパラメータを取得し、急冷凝固法と陽極酸化組み合わせで形成したリボン表面層のナノ構造解析を行う。なお、試作したリボン蓄電体の電気的特性を評価するために、既設のポテンショスタットで構成する充放電解析装置を用いた充放電特性の評価を行う。

研究(3) 積層蓄電体の創製と性能評価

開発する蓄電体の充放電容量を増大させるためには、リボン蓄電体を積層化することが有効である。積層した蓄電デバイスについて、充放電試験を実施し基礎的蓄電性能特性を評価する。同時に、交流インピーダンス解析を行うことにより電気的特性評価を支援し、蓄電デバイスの作製法に関する検討へフィードバックする。以上の研究により、提案する電子移動に基づく量子物理的固体蓄電体の充放電性能を増大させ、蓄電を核とする環境調和型エネルギーシステム開発のための学術的基盤の構築を目指す。

4. 研究成果

研究方法で記載した研究(1),(2), および(3)毎に、得られた成果を以下に記載する。

研究(1) アモルファスリボンの作製とナノ凹凸表面構造の形成

急冷凝固法により幅 10mm で長さ 50mm の寸法で、表面にアモルファスアルミナ層を有するリボンが作製できた。炭酸ガスのナノバブル水を添加した硫酸水溶液を用いて、陽極酸化における溶媒濃度、温度、電圧が表面凹凸寸法・形状ならびに蓄電性能に及ぼす影響について系統的な調査を行った。3種類 of ナノバブル水を用いた陽極酸化に得られた酸化挙動と得られた充放電特性に関する結果を図1に示す。CO₂ ナノバブル水が良好な結果を与えている。また、陽極酸化における温度依存性を酸化挙動と得られた充放電特性を図2に示している。0.4 mol 濃度で 5°C

の希硫酸中、電圧 16V での陽極酸化による蓄電能が最高となることがわかった。研究初期には、陽極酸化はリボン試料を水溶液中に浸漬するため、両面が黒色のナノ凹凸面となっていたが、今回広幅化により冷却能が低下してロール接触側が結晶化し、He ガス接触の自由面のみがアモルファスであった。陽極酸化後の結晶面はアルミ結晶酸化物となり、アモルファス合金面は黒色アモルファスアルミナ酸化物であることを明らかにした。この組織は従来の両面アモルファス酸化物に比較して、蓄電量が平均2-7倍大きくなった。これは結晶化面の電気抵抗造材によるリーク防止と、回路が並列から直列になったことによって電気容量が2倍になったことによる。3種類の出発材料(アモルファス AlY₁₀, AlY₁₀Fe₅, ならびに結晶性 Al) の放電特性を図

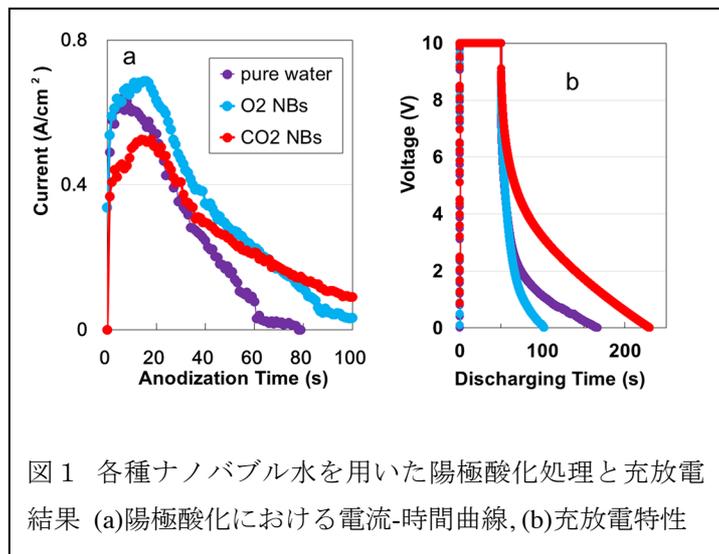


図1 各種ナノバブル水を用いた陽極酸化処理と充放電結果 (a)陽極酸化における電流-時間曲線, (b)充放電特性

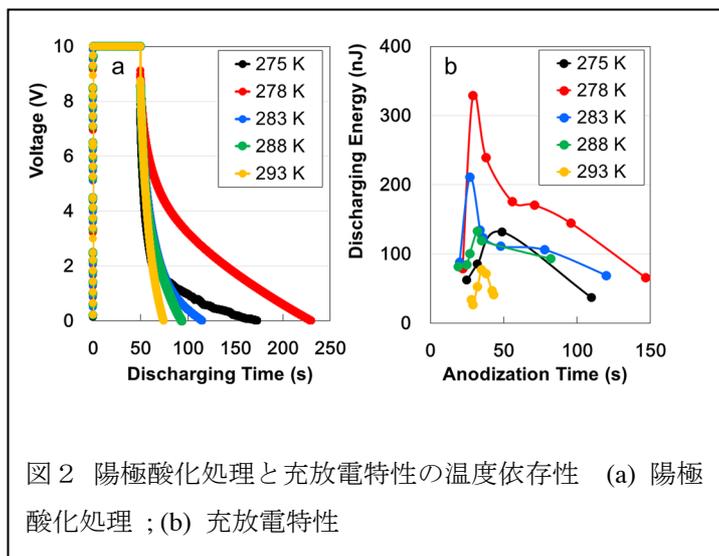


図2 陽極酸化処理と充放電特性の温度依存性 (a) 陽極酸化処理 ;(b) 充放電特性

3に示す。アモルファス AlY_{10} が良好な放電特性を示していることがわかる。蓄電特性は蓄電体表面に形成されるナノ凹凸構造の寸法や形状により影響される。そのため、ナノ凹凸構造の最適化を目的として、種々の方法で陽極酸化した試料に対して、高精度 AFM を用いて凸径 d 、凹径 c 、凸径／凹径比 d/c 及び凸頂点から凹底点までの深さ h を計測し、各々の試料の蓄電特性を測定した。その結果、蓄電量は d 、 h 、 d/h 比の減少に伴って増大し、 $d/c=1$ の時、最大となった。すなわち等径の凹凸で深さが浅い形状が蓄電性にとって最適であることを示すことができた。また、凹凸径は平均 21 nm まで減少させることに成功することができた。さらに、この結果は、蓄電現象が量子ナノサイズ効果による並列コンデンサーの分布定数回路でモデル化できることを示している。本研究で試作したリボン蓄電体の特性の代表的な値は、パワー密度が 115.4 W/kg、エネルギー密度は 47.00 Wh/kg であった。

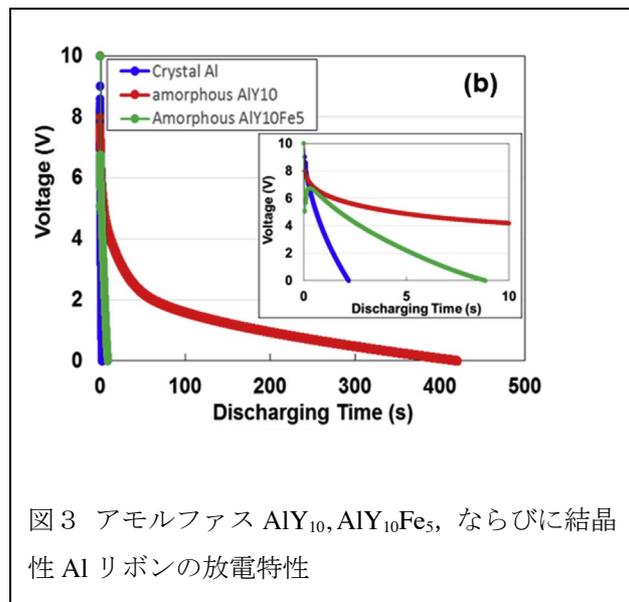


図3 アモルファス AlY_{10} 、 $AlY_{10}Fe_5$ 、ならびに結晶性 Al リボンの放電特性

研究(2) リボンのナノ形状・構造解析と物理的蓄電のメカニズム解明

通常、Al 陽極の酸化では結晶の白色アルミナが生じる。しかし本系の陽極酸化では黒色のアモルファスアルミナが生じ、この黒色アモルファスアルミナのみにおいて蓄電性が発現した。出発原料に結晶 Al や安定な Al-Y-Fe アモルファス合金の陽極酸化では白色結晶アルミナ表面となり、蓄電性は現れない。すなわち希硫酸溶液中への Al-Y 合金の急激な溶解とその後の緩慢な酸化物形成及び析出が AlO_6 クラスタを形成する理由である。従来の AlO_4 や AlO_5 のクラスターでは蓄電効果が生じない。この緩慢な酸化には純水よりも炭酸ガスナノバブル水を用いることが効果的であり、安定化して良好な AlO_6 クラスタが得られる。

核磁気共鳴分析で蓄電機構は AlO_6 クラスタの形成に起因することを示した。これにより、アモルファスアルミナによる蓄電メカニズムは、 AlO_6 クラスタが形成することによっていることを明らかにすることができた。試料表面をフーリエ赤外線 (FT-IR) 解析とマイクロレーザーラマン分光法で測定した。その結果、 AlO_6 クラスタは 3505 cm^{-1} の FT-IR ピークバンドと 1047 cm^{-1} のラマンピークによって特徴づけられることが分かった。Thomas-Fermi による遮蔽理論に基づく数値的解析では凸径 21 nm で約 -20 eV の仕事関数値が得られた。Al 基アモルファス合金についてのこの値は、アモルファスチタニアやアモルファスポリマーの仕事関数より大きく、電子吸着能が高いことを示している。さらに、第一原理に基づく分子軌道法シミュレーション解析を実施し、準安定なアルミ酸化物を構成する AlO_6 クラスタは、密度 2.792 g/cm^3 を持つ $Al_2O_{2.875}$ であることを発見している。第一原理に基づく分子軌道法シミュレーションによる解析結果を図 4 に示している。これに基づき、O 原子とその隣接 Al 原子の欠陥近傍に局在するバンドギャップ中に孤立電子が出現し、これが静電誘導により正電荷を誘発し、結果的に外部から多量の電子を吸着する蓄電機構を提案した。

なお、大気中非接触 AFM により正電荷から負電荷の推移により試料表面は負電荷充電へのスイッチング作用を発見している。これは、非接触で帯電層からの蓄電をすることが可能であることを示すものである。空气中、非接触の AFM 解析では、カンチレバーの先端が+1V から 30 秒かけて-100 V まで変化したとき試料は+8.5 V から-11.2 V まで連続的に変化した。これは電極が正の時は凸面から電子が電極に飛来し、反対に負の時は、電極から電子が凸面に放射すると考えられる。これは空中における電子のスイッチング現象が発生していることを示している。

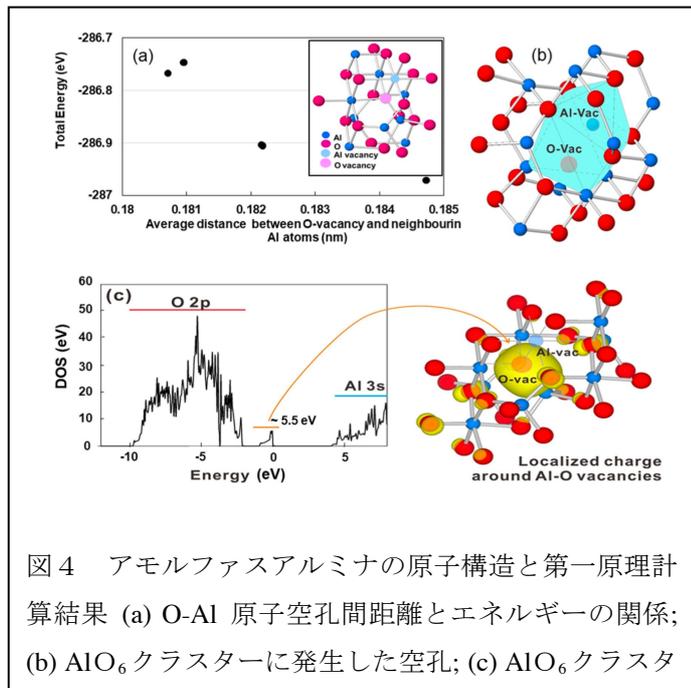


図4 アモルファスアルミナの原子構造と第一原理計算結果 (a) O-Al 原子空孔間距離とエネルギーの関係; (b) AlO₆クラスターに発生した空孔; (c) AlO₆クラスタ

これは空中における電子のスイッチング現象が発生していることを示している。大気中には電気的中性で大量の電荷が保持されている地球コンデンサーが形成されていることが示されている。上述したスイッチング現象を見出した実験結果は、大気電流からの蓄電が原則的に可能であることを示している。

研究（3）積層蓄電体の創製と性能評価

積層化のためには、ナノ径凸点を集電板と連続的に接着させることが必須条件となるとともに、蓄電性向上にとって最も重要な課題である。厚さが0.1, 1, 10 μmの金箔を用いて凸面周囲を覆い、ゴムチューブに挿入後脱気し1, 10, 50, 100, 200 MPaの静水圧での接着を行なった。0.1 μm膜は凹面まで接着し、10 μm膜は接着せず、1 μm膜は一部が接着したのみで安定な電極作製までは至らなかった。金属材料は極めて延性に富む材料であるものの、常温でのナノ径面への機械的接着には至らなかった。この結果を踏まえて、凸面への垂直Au/Cr蒸着を乾式法により行ったところ、Au/Cr金属により凹面奥底まで蒸着することができた。試料から5度傾斜させたほぼ平行蒸着も行ったものの、蓄電効率は極めて低い結果であった。幅が20 mmまでのアルミナリボン材を用いて、スパッター垂直照射、80°の傾斜照射法や、0.1, 1, 10 μmの金箔の直接付着法によって金電極形成を試み、電極に集電体を付与することができている。しかしながら、前者の方法では凹部にまで蒸着され、後者は静電気により金箔が凝集し高性能な集電体の作製、ならびにこれらの方式による積層化については今後の課題になっている。一方、陽極酸化法の代わりにアルミナ粒を1500°Cの還元雰囲気中焼鈍させた黒色ナノ径粒子をエポキシ系樹脂で固めて凸径サイズの広面積蓄電体を作製する方法を考案し、実際に試作することができた。また、蓄電性能をさらに向上させるための方法として、アルミナ自体の蓄電量の改善ならびにアルミナの微細化を目的として、1300°C-1500°Cの温度範囲で黒鉛製ホットプレスを行うことでアルミナの酸素欠損度を増大させるとともに、アルコキッド法で作成したアルミナ粒子(0.1 μm以下)を用い、これにより冷凍粉碎法により微細化する手法を提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Fukuhara Mikio, Kuroda Tomoyuki, Hasegawa Fumihiko, Hashida Toshiyuki, Yagyu Hotaka, Konno Kazuya, Nishijima Masahiko, Kwon Eunsang	4. 巻 10
2. 論文標題 Surface analyses of amorphous aluminum oxides with AlO6 clusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MRS Communications	6. 最初と最後の頁 674 ~ 679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/mrc.2020.82	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 Fukuhara Mikio, Kuroda Tomoyuki, Hasegawa Fumihiko, Hashida Toshiyuki, Takeda Mitsuhiro, Konno Kazuya, Fujima Nobuhisa	4. 巻 11
2. 論文標題 AlO6 clusters' electric storage effect in amorphous alumina supercapacitors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-81483-2	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 Fukuhara Mikio, Kuroda Tomoyuki, Hasegawa Fumihiko, Hashida Toshiyuki, Takeda Mitsuhiro, Fujima Nobuhisa, Morita Masahiro, Nakatani Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Amorphous cellulose nanofiber supercapacitors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-85901-3	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 Fukuhara Mikio, Hasegawa Fumihiko, Hashida Toshiyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Ultrasonic properties of amorphous TEMPO-oxidized cellulose nanofibers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MRS Communications	6. 最初と最後の頁 302 ~ 309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43579-021-00036-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 -

1. 著者名 Mikio Fukuhara, Tomoyuki Kuroda, Fumihiko Hasegawa, Yasuyuki Shirai, Toshiyuki Hashida, and Kazuya Konno	4. 巻 776
2. 論文標題 Anodic oxidization of Al-Y amorphous alloy ribbons and their capacitive properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Alloy & Comp.	6. 最初と最後の頁 757-762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.10.346	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 Mikio Fukuhara, Tomoyuki Kuroda, Fumihiko Hasegawa, Masayoshi Takahashi, Tomoyuki Suwa, Toshiyuki Hashida, Kazuhisa Sato, Masahiko Nishijima and Kazuya Konno	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of temperatures and carbon dioxide nanobubbles on superior electric storage for anodically oxidized films of AlY10 amorphous alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 0952021-0952028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5102082	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 Mikio Fukuhara, Tomoyuki Kuroda, Fumihiko Hasegawa, Yasuyuki Shirai, Tomoyuki Suwa, Toshiyuki Hashida and Masahiko Nishijima	4. 巻 128
2. 論文標題 Amorphous titanium-oxide supercapacitors with high capacitance,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Europhysics Letters	6. 最初と最後の頁 58001-58005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/128/58001	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 Watanabe Satoshi, Sukino Shinji, Miyasaka Taihei, Sato Kazuhisa, Yashiro Keiji, Kawada Tatsuya, Hashida Toshiyuki	4. 巻 55
2. 論文標題 Influences of Ni content and porosity on mechanical properties of Ni ₂ YSZ composites under solid oxide fuel cell operating conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 8679 ~ 8693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-04624-4	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 Kumada Keigo, Sato Kazuhisa, Kawada Tatsuya, Sumi Hirofumi, Shimada Hiroyuki, Hashida Toshiyuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Effect of pinholes in electrolyte on re-oxidation tolerance of anode supported solid oxide fuel cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fuel Cells	6. 最初と最後の頁 398 ~ 407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/face.202000062	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6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Y. Huang, K. Sato, K. Kumada, and T. Hashida
2. 発表標題 Evaluation of Creep Properties in Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells by Using Small Punch Testing Method
3. 学会等名 16th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XVI), Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan, September 8-13, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kumada, K. Sato, Y. Asoh and T. Hashida
2. 発表標題 Proposal of a Modified Four-Point Bending Method for Determining Interfacial Fracture Energy at Electrode/Electrolyte Interfaces in SOFCs
3. 学会等名 16th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XVI), Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan, September 8-13, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhisa SATO, Tatsuya KAWADA, Toshiyuki HASHIDA
2. 発表標題 Mechano-Electro-Chemical Design to Improve Reliability and Durability of Solid Oxide Fuel Cells
3. 学会等名 Proceedings of Asia Pacific Society for Materials Research 2019 Annual Meeting (APSMR 2019 Annual Meeting), Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, July 26-29, 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳田 航輝, 吉田 尚生, 佐藤 一永, 橋田 俊之
2. 発表標題 酸化物型全固体電池における正極特性の向上を目的とした作製・評価に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第50回卒業研究発表講演会, 令和2年3月6日, 弘前大学(弘前市), (2020年3月)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ouchi , N. Yoshida , K. Sato, T. Hashida
2. 発表標題 Preparation and Evaluation of Electrolytes by Spray Pyrolysis Deposition for All-Solid-State Lithium Batteries
3. 学会等名 16th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019), Sendai International Center, Sendai, Japan, November 6-8, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fan Liu, Naoto Nishioka, Keiichi Shirasu, Fumio Ogawa, Toshiyuki Hashida
2. 発表標題 Radial growth kinetics of epitaxial pyrolytic carbon layers on carbon nanotube surfaces by non-catalytic pyrolysis
3. 学会等名 31st International Conference on Diamond and Carbon Materials, 6-9 September 2021, ONLINE (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Mikio Fukuhara	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, UK	5. 総ページ数 120
3. 書名 Electronic Properties of Nanoclusters in Amorphous Materials	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 蓄電材料及びウルトラ蓄電体	発明者 福原幹夫, 黒田共之, 長谷川史彦, 伊藤修, 橋田俊之	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-025301	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 蓄電材料および蓄電デバイス	発明者 福原幹夫，黒田共之，長谷川史彦	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6628241号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 固体電子蓄電体を用いた雷及び大気電流蓄電装置	発明者 福原幹夫，黒田共之，伊藤修，長谷川史彦	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6498945号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔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	福原 幹夫 (Fukuhara Mikio) (30400401)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・学術研究員 (11301)	
研究分担者	佐藤 一永 (Sato Kazuhisa) (50422077)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	今野 一弥 (Konno Kazuya) (80270198)	仙台高等専門学校・総合工学科・教授 (51303)	

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
---------	---------