

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25709072

研究課題名(和文) 酸化物の微視的欠陥制御による高プロトン伝導性材料の設計

研究課題名(英文) Design of high proton conducting oxide by defect control

研究代表者

奥山 勇治 (OKUYAMA, Yuji)

宮崎大学・テニユアトラック推進機構・准教授

研究者番号：80613281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では酸化物中の微視的構造制御によるプロトン溶解量の増加及び高プロトン伝導性付与を目指した材料設計指針を明らかにすることを目的として以下の項目を検討した。

カチオンサイズ効果、混合効果が与えるプロトン溶解量への影響、合成温度が与える局所構造への影響とプロトン溶解量の関係、Mnイオンの還元膨張による局所構造制御と水素からの直接的なプロトン溶解、プロトン伝導体のポテンシャル分布と分極特性

研究成果の概要(英文)： In order to clarify the relation between the proton concentration and the local defect structure, the following item was investigated for the proton-conducting oxide.

(a)The cation size effect and the cation mixed effect on the proton concentration. (b)The sintering temperature effect on the local defect structure and the proton concentration. (c)Proton dissolution by reduction expansion of manganese ion. (d)Hydrogen potential profile and polarization properties of proton-conducting oxide.

研究分野：固体イオニクス

キーワード：プロトン伝導体

1. 研究開始当初の背景

1981年に岩原らによってペロブスカイト型酸化物プロトン伝導体が発見されてから、伝導メカニズムの解明やその応用がこれまでに検討されてきた。近年ではPCFC(プロトンセラミック燃料電池)やPCEC(プロトンセラミック水蒸気電解セル)などの水素エネルギーのデバイスとして期待されており、国内外で研究が進んでいる。なかでもヨーロッパでは応用研究が特に盛んに行われており、BaCeO₃:YやLaNbO₄:Caなどを電解質とした燃料電池の特性評価が行われている。しかしながら、BaCeO₃などの導電率の高い材料は化学的安定性が低く、一方で化学的安定性を持つLaNbO₄などはBaCeO₃程のプロトン伝導性がないことから実用には極めて困難な状況にある。これまでのプロトン伝導体の基礎的な研究において高いプロトン伝導性を有する材料を開発するためには次の課題を解決する必要がある。

酸化物イオンが6配位ではなく5配位で安定となり水素溶解 ($H_2O + V_O^{\bullet\bullet} = O_O^{\times} + 2H_i^{\bullet}$) に伴う酸化物イオン空孔への酸素の導入が困難(酸化物イオン空孔が安定化)となっているかドーパントである低原子価カチオンと一部の酸化物イオン空孔が会合することで安定化し、理論上最大濃度までプロトン濃度が到達しない。

中低温度領域において水素を導入するためのドーパントにプロトンがトラップされ拡散係数が著しく減少し、導電率が低くなっている。

2. 研究の目的

本研究では化学的安定性、高い機械的強度を備えた酸化物型プロトン伝導体のプロトン伝導性を最大限まで向上させる材料設計指針を明らかにし、発電システムとして実用に耐えうるプロトン伝導体を用いてPCFC(プロトンセラミック燃料電池)を開発することを目的とする。

これまで酸化物プロトン伝導体はアクセプタードーパント(低原子価カチオン)を添加した際の負の相対電荷をプロトンで補うことから添加した低原子価カチオン濃度までプロトンが溶解すると考えられていた。しかしながら申請者のこれまでの研究でプロトンの最大溶解量は低原子価カチオン濃度まで達していないことが明らかになった。また、プロトンは低原子価カチオンと会合(トラップ)しており著しく水素の拡散係数を減少させていることが確認され、プロトン伝導体には大きな2つ問題点を抱えていることが明らかとなった。本研究はこの2つの問題を材料調製の観点から解決することでプロトンが溶解しやすく動きやすい酸化物すなわち最高性能を有した酸化物プロトン伝導体を設計創製し、燃料電池への応用を行う。

3. 研究の方法

3-1. La系及びSr系ペロブスカイトの調製とプロトン輸送特性の評価

La系ペロブスカイト酸化物においてカチオンサイズ効果を調べるためにLa_{0.9}Sr_{0.1}MO_{3-δ}(M=Al, Sc, In, Yb, Y)を酸化物もしくは炭酸塩を出発物質とした固相反応法および硝酸塩を出発物質とした焼成合成法にて作製した。得られた緻密な試料を用いて交流4端子法にてインピーダンスを測定し、電気伝導度を評価した。さらに、熱重量分析によりプロトン溶解に伴う試料の重量変化を測定し、プロトン溶解量を評価した。

さらにカチオン混合効果を調べるためにLa_{0.9}Sr_{0.1}(Yb_{1-x}M_x)O_{3-δ}(M=In, Y)を固相反応により作製し、インピーダンス測定及び熱重量測定を行った。プロトン伝導度とプロトン溶解量を見積もり、カチオン混合に伴うプロトン溶解量とプロトン移動度への影響を調べた。

Sr系ペロブスカイト酸化物のカチオン混合効果を調べるために、固相反応法によりSrCe_{0.9-x}Zr_xY_{0.1}O_{3-δ}(x=0.0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)を作製し、熱重量分析よりプロトン溶解量を評価した。さらに結晶構造の組成依存性を調べるためXRD、局所構造を調べるためにラマン分光分析を行った。

3-2. LaYbO₃系ペロブスカイトの合成温度とプロトン溶解量の検討

La_{0.9}M_{0.1}YbO_{3-δ}(M=Ca, Sr, Ba)における合成温度とプロトン溶解量の関係を調べるため硝酸塩を出発物質とした化学溶液法にて試料を作製した。前駆体を作製し、前駆体から目的の酸化物を得る際の熱処理を水蒸気分圧および温度を種々の条件で行い、得られた試料のプロトン溶解量を熱重量分析により評価した。さらに試料の比表面積をBETにて測定するとともに、ラマン分光分析にて局所構造を検討した。

3-3. Mnを添加したCaZrO₃の合成と還元挙動の評価

遷移金属の還元に伴った水素溶解機構を検討するためCaZr_{1-x}Mn_xO_{3-δ}を固相反応法にて作製し、ESR測定によりMnの価数状態を明らかにした。更にIR吸収スペクトル分析によりMnの水素溶解の有無を確認した。また、Mnの還元に伴う導電率挙動を交流4端子法によるインピーダンス測定により調べた。

3-4. La系ペロブスカイトを用いた燃料電池評価

La_{0.9}Sr_{0.1}Yb_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ}(LSYbIn)を固相反応法にて作製し、電解質支持型の燃料電池を構成した。アノードにはNi/LSYbInのサーメット、カソードにはLa_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3-δ}を用いた。電流・電圧特性を調べるとともに電流遮断法にて電解質のオーム損失、電極過電圧を評価し

た。また、導電率の分圧依存性、ガス濃淡電池の起電力特性よりプロトンと正孔の部分伝導度を明らかにし、それらの値から分極時の理論的な電流・電圧特性と電解質内の水素ポテンシャル分布を明らかにした。

4. 研究成果

4-1 プロトン溶解量及びプロトン伝導度の異種元素置換効果

LaMO₃ ペロブスカイトの M サイトの元素のイオン半径を増加させた際のプロトン伝導率、水素溶解量を調べた。図 1 に示すように La_{0.9}Sr_{0.1}MO_{3-δ} (M=Al, Sc, In, Yb, Y) においてプロトン伝導率を比較すると Sc>In>Yb>Y>Al の順に導電率は減少した。また、プロトン溶解量は In>Sc>Yb>Y>Al の順で減少することがわかった。酸素イオン間距離を考えると M=Sc, In のプロトン溶解量が多かったものは 2.8-3.0 の酸素イオン間距離を有しており、M サイトのイオンサイズにプロトン溶解量は大きく依存していることが明らかになった。移動度に関しては La 系ペロブスカイトでは M サイトのイオン半径には影響はなく、明確な依存性は見られなかった。

LaMO₃ ペロブスカイトの M サイトに 3 価の異なる元素を混合した際のプロトン伝導率、水素溶解量を調べた。

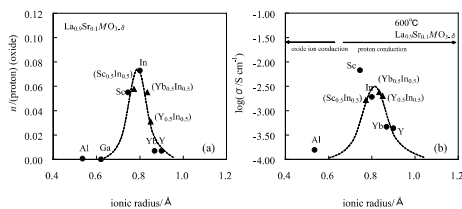


図 1. プロトン輸送特性とイオン半径の関係 (a) 最大プロトン濃度 (b) 電気伝導度

La_{0.9}Sr_{0.1}(Yb_{1-x}M_x)O_{3-δ} (M=In, Y) において In の置換量の増加に伴い著しい導電率とプロトン濃度の増加が観測された。一方、Y の添加では導電率、プロトン濃度に変化は見られなかった。同価数の元素を置換していることから電気的な均衡に変化はないが結晶的に In を添加することで格子は減少する。その結果としてプロトン溶解に適した O-O 距離を有しプロトンの溶解量が増加したものと考えられる。

SrCe_{0.9-x}Zr_xY_{0.1}O_{3-δ} において Ce と Zr の置換比に対するプロトン溶解量と導電率を調べると共にラマン分光による O-Ce (or Zr)-O に起因するラマン散乱スペクトルを観察することで局所構造とプロトン溶解量の関係性を調べた。図 2(a) に示すように 380-400cm⁻¹ 付近のラマンスペクトルは Ce サイトに Zr を置換することで高波数側にシフトすることがわかった。これは Ce よりも小さな Zr が置換することで周りの酸素八面体

が収縮し結合距離が短くなると共に結合強度が増加したためである。また、ラマンスペクトルの半値幅は Ce と Zr が混合した際にブロードとなった。これは酸素八面体の対称性が減少したことによるものである。図 2(b) に示すようにプロトンの溶解量は Ce と Zr を混合した状態で最も高いことから酸素八面体の対称性の減少が高いプロトン溶解量を導く要因であることが本研究から示唆された。

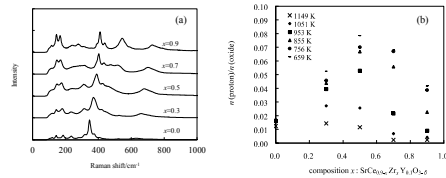


図 2. SrCe_{0.9-x}Zr_xY_{0.1}O_{3-δ} の (a) ラマンスペクトルと (b) プロトン溶解量

4-2 プロトン溶解量への合成温度の影響

上記に示したように酸化物中のプロトン溶解量は酸素原子間距離や対称性などの局所構造に起因するようことが示唆された。そこで合成温度により結晶性を制御することでプロトン溶解量の制御を試みた。La_{0.9}M_{0.1}YbO_{3-δ} (M=Ca, Sr, Ba) の前駆体を化学溶液法にて作製し、900、1300、1700 にて焼成した試料の比表面積を BET にて測定し、熱重量分析にてプロトン溶解量を評価した。さらにラマン分光分析にて局所構造を検討した。図 3(a)-(d) に乾燥状態と湿潤状態 (pH₂O=0.019) での試料重量差を示す。全ての組成において 1.5g の試料の試料重量にて測定を行った。図 3(a) に示すように 900、1300 にて焼成した不純物元素を添加していない LaYbO₃ において僅かながら重量増加が観測された。これは比表面積増大に伴う吸着水の影響が観測されたものと考えられる。図 4 に吸着水の影響を検討するため比表面積

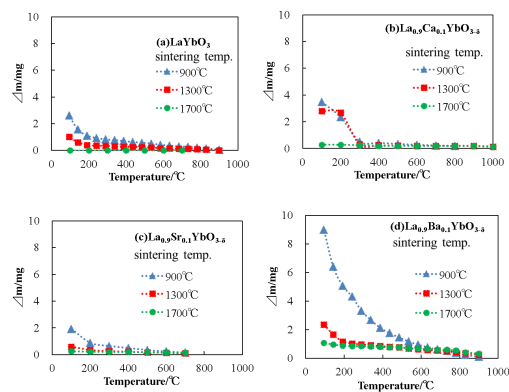


図 3. 各合成温度において作製した LaYbO₃ の乾燥・湿潤雰囲気での重量差 (a) undoped LaYbO₃ (b) Ca-doped LaYbO₃ (c) Sr-doped LaYbO₃ (d) Ba-doped LaYbO₃

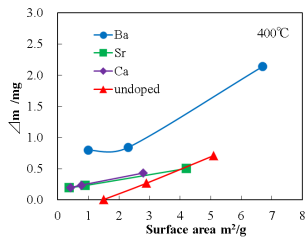


図 4. 400 °C での乾燥・湿潤雰囲気での重量差と比表面積の関係

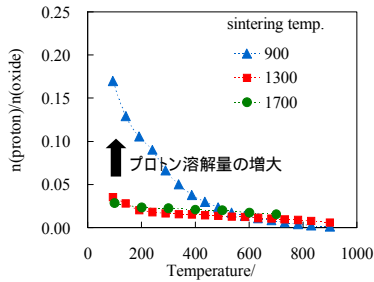


図 5 La_{0.9}Ba_{0.1}YbO_{3-δ} のプロトン溶解量と合成温度の関係

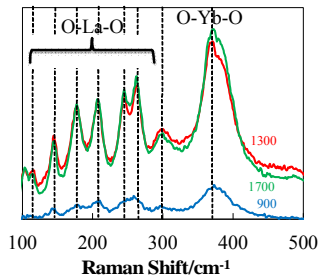


図 6 La_{0.9}Ba_{0.1}YbO_{3-δ} のラマンスペクトルと合成温度の関係

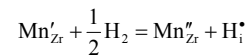
と重量変化量の関係を示す。図に示すように比表面積の増加とともに重量変化量が増加していることがわかる。無添加の LaYbO₃ の重量増加は表面の吸着水によるものと考えられる。一方、図 3(b)-(d)に示すドーパントを添加した試料の重量変化は吸着水と結晶内に溶け込んだプロトンによって生じているものと考えられる。そこで図 4 に示した無添加の LaYbO₃ の吸着水による重量増加と比表面積の関係を用いて各試料の吸着水の影響を補正してプロトン濃度を見積もった。Ca, Sr に関しては 300-900 °C のプロトン溶解量は合成温度に影響していないことが明らかになった。一方、Ba をドーパした LaYbO₃ は 900 °C で合成した試料で明確なプロトンの増大が観測された。図 5、図 6 に Ba を添加した LaYbO₃ のプロトン溶解量とラマンスペクトルを示す。図 5 に示すように 1300 °C、1700 °C で焼成した試料ではプロトン溶解量に差は見られなかった。一方、900 °C で焼成した試料はプロトン溶解量が増大していることが

わかる。粉末 X 線回折による結晶構造解析では焼成温度で違いは観測されず、斜方晶系のペロブスカイト構造を有していることが確認できた。図 6 にラマン分光スペクトルを示す。図に示すように 1300 °C、1700 °C ではシャープなスペクトルが観測されたがプロトン溶解量の増大した 900 °C で焼成した試料ではブロードなラマンスペクトルを示し結晶対称性の減少が示唆された。

4 - 3 価数変化を利用した新規プロトン溶解機構

局所構造がプロトンの溶解に影響することから Mn³⁺ から Mn²⁺ の還元膨張を利用してプロトンを酸化物中に溶解させる新たなプロトン溶解機構の検討を行った。従来のプロトン伝導性酸化物では低原子価カチオンを添加することで酸化物イオン空孔を形成し、その酸化物イオン空孔を介して水蒸気からプロトンを導入していた。本研究では Mn の価数の変化に伴う電荷の変化と酸素八面体の膨張を利用して水素から直接プロトンを導入する水素溶解機能について検討した。試料として CaZr_{1-x}Mn_xO_{3-δ} を固相反応法により作製し、酸化還元に伴う Mn の価数変化を ESR 測定にて、プロトンの溶解を IR 吸収スペクトル分析により検討した。図 7 に ESR スペクトルを示す。図に示すように 800 °C、1.9% H₂O-1% H₂-Ar 中にて熱処理した試料では Mn²⁺ に帰属する 6 本のシグナルが観測された。一方、1.9% H₂O-1% O₂-Ar 中にて熱処理した試料では Mn²⁺ のピークが減少していることがわかる。このことから Mn イオンは水素による還元により Mn³⁺ から Mn²⁺ に変化していることがわかる。

また、図 8 に示すように IR 吸収スペクトル分析の結果、800 °C、1.9% H₂O-1% H₂-Ar 中にて熱処理した試料では 3300 cm⁻¹ 付近に OH 伸縮振動に起因したピークが観測された。また、800 °C、1.9% H₂O-1% O₂-Ar 中にて熱処理した試料では OH 伸縮振動に起因したピークが減少していることがわかる。このことからプロトンは以下の式に従って溶解していることが考えられる。



導電率および起電力特性を調べた結果、プロトンが溶解する H₂ 雰囲気ではプロトン伝導性を示し、さらに水素分圧の増加とともにプロトン伝導度が増加することが明らかになった。また、O₂ 雰囲気では Mn³⁺ に酸化し、プロトンが脱離するため正孔伝導性が優れた電荷担体となることが明らかになった。以上の研究結果より酸素八面体の局所構造を制御することでプロトンの導入、脱離が可能であり、プロトン伝導度を制御することが可能であると考えられる。

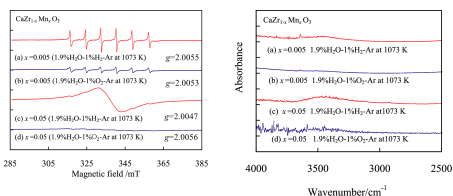


図7 MnをドーブしたCaZrO₃のESRスペクトル(左図)

図8 MnをドーブしたCaZrO₃のIR吸収スペクトル分析(右図)

4 - 4 プロトン伝導性酸化物の水素ポテンシャル分布と燃料電池特性

La系プロトン伝導性酸化物の分極特性と燃料電池への応用

4 - 1で示したカチオン混合効果よりLaYbO₃を母体としたプロトン伝導体において比較的高いプロトン伝導性を示すLa_{0.9}Sr_{0.1}Yb_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ}(LSYbIn)における電気伝導度特性、起電力特性からプロトン及び正孔の部分伝導度を評価し、燃料電池作動時の電解質の分極特性を把握し、正孔伝導性による燃料電池の発電効率に与える影響を調べた。

低酸素分圧(H₂O-H₂雰囲気)では伝導度は酸素分圧に依存せず、高酸素分圧(H₂O-O₂雰囲気)では酸素分圧の1/4乗に比例していることが明らかになった。起電力特性と欠陥平衡に基づき部分伝導度を求めると低酸素分圧ではプロトン伝導、高酸素分圧では正孔伝導であることが明らかになった。

得られた部分伝導度と局部平衡及び電流の釣り合いを考慮してLSYbInの電流と電圧の関係を算出した。その結果を図9に示す。図に示すように燃料電池として作動させる場合(Galvanic)、正孔電流はプロトン電流と比較すると無視できるほど小さくなる。一方で電解セルとして作動させる場合(Electrolytic)、分極に伴い正孔電流が支配的になることが明らかになった。また、実際に燃料電池を構築した際の電解質のオーム損失は正孔電流を考慮した本計算値とよく一致していることが明らかになった。

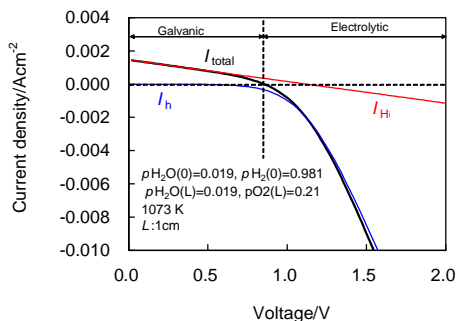


図9 部分伝導度より求めたLSYbInの電流・電圧特性

これらの分極挙動を詳しく理解するため、プロトン伝導体中の水素・酸素ポテンシャル分布解析を行った。その結果を図10(a)(b)に示す。図に示すように燃料電池作動の場合、プロトン伝導体内の水素ポテンシャルが分極と共に増加し、酸素ポテンシャルは減少することがわかる。逆に電解作動の場合、水素ポテンシャルは減少し、酸素ポテンシャルは増加する。これは空気極方向に水素を動かす燃料電池では高電流密度になればなるほど電解質内の水素のポテンシャルが高くなり正孔伝導性を無視できるようになることを示している。一方で電解作動では空気極から水素を引っ張ることから電解質内の水素ポテンシャルが減少し、正孔電流の寄与が大きくなることからわかる。以上のことからプロトン伝導体を環境デバイスとして応用するには適した温度、ポテンシャル勾配を考慮する必要があることが明らかになった。

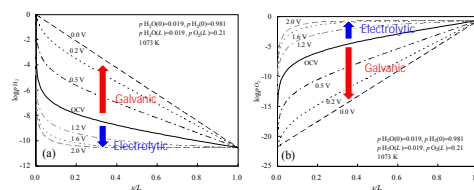


図10 プロトン伝導体のポテンシャル分布
(a)水素ポテンシャル(b)酸素ポテンシャル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9件)

- Yuji Okuyama*, Shinya Nagamine, Akira Nakajima, Go Sakai, Naoki Matsunaga, Fusako Takahashi, Koji Kimata, Tomoko Oshima, and Koji Tsuneyoshi, Proton-conducting oxide with redox protonation and its application to a hydrogen sensor with a self-standard electrode, RSC Advances 6(2016)34019-34026 DOI:10.1039/C5RA23560J(査読有)
- Y. Okuyama, N. Ebihara, K. Okuyama, Y. Mizutani, Improvement of Proton Ceramic Fuel Cells with Thin Film BCZY Electrolyte, ECS Transactions, 68(2015)2545-2553. DOI:10.1149/06801.2545.ecst(査読有)
- Y. Okuyama*, K. Isa, Y. Lee, T. Sakai, H. Matsumoto, Incorporation and conduction of proton in SrCe_{0.9-x}Zr_xY_{0.1}O_{3-δ}, Solid State Ionics, 275 (2015) 35-38. DOI:10.1016/j.ssi.2015.01.010(査読有)
- Y. Okuyama*, K. Okuyama, Y. Mizutani, T. Sakai, Y. Lee, H. Matsumoto, Proton transport properties of La_{0.9}Sr_{0.1}Yb_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} and its application to proton ceramic fuel cell, International Journal of Hydrogen Energy, 39(2014) 20829-20836.

DOI:10.1016/j.ihydene.2014.06.113(査読有)
5. Yuji Okuyama, Shohei Ikeda, Takeshi Kozai, Maki Matsuka, Takaaki Sakai and Hiroshige Matsumoto, Incorporation and conduction of proton in Sr-doped LaMO_3 ($M=\text{Al, Sc, In, Yb, Y}$), *Electrochimica Acta* 125(2014)443-449.
DOI:10.1016/j.electacta.2014.01.113(査読有)
6. Y. Okuyama, S. Ikeda, T. Sakai and H. Matsumoto, Incorporation of a proton into $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}(\text{Yb}_{1-x}\text{M}_x)\text{O}_{3-\delta}$ ($M=\text{Y, In}$), *Solid State Ionics* 262(2014)865-869
DOI:10.1016/j.ssi.2013.11.044(査読有)
他 3 報(査読有)

〔学会発表〕(計 18 件)

1. 奥山勇治, 酒井孝明, 山崎仁丈
Y をドーピングした BaZrO_3 のプロトン輸率と分極時のポテンシャル分布解析
日本金属学会 2016 年春期講演大会 2016.03.24
東京理科大学(東京都葛飾区)(口頭)
2. 奥山 勇治, 永峰 慎也, 渋谷棟文, 中島 暉, 酒井 剛, 松永 直樹, 高橋 総子, 木股 幸司, 大島 智子
 CaZrO_3 中への Mn 還元に伴うプロトン溶解と電気化学特性
第41回固体イオニクス討論会, 2015.11.25 北海道大学(北海道札幌市)(口頭)
3. 奥山勇治
La系ペロブスカイト型酸化物のプロトン伝導特性と燃料電池への応用
日本セラミックス協会2015秋季シンポジウム 2015.9.18 富山大学(富山県富山市)(依頼講演)
4. 奥山勇治
プロトン伝導性酸化物の欠陥構造とその機能性
トークシャワー・イン九州2015 2015.9.5 休暇村志賀島(福岡県福岡市)(招待講演)
5. 奥山勇治
プロトン伝導性酸化物の欠陥構造とデバイスへの応用
第11回固体イオニクスセミナー2015.8.31 熱川ハイツ(静岡県賀茂郡東伊豆町)(招待講演)
6. Y. Okuyama, N. Ebihara, K. Okuyama, Y. Mizutani
Improvement of Proton Ceramic Fuel Cells with Thin Film BCZY Electrolyte
ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion & Storage with SOFC-XIV, July 26-31, 2015, Glasgow(Scotland)(poster)
7. Y. Okuyama, S. Nagamine, A. Nakashima, F. Takahashi, K. Kimata, T. Oshima, G. Sakai, N. Matsunaga
Protonation of Mn doped CaZrO_3 and its application to hydrogen sensor
20th International Conference on Solid State Ionics, June 14-19, 2015, Colorado(USA)(oral)
8. 奥山 勇治, 永峰 慎也, 中島 暉, 高橋 総子, 木股 幸司, 大島 智子, 酒井 剛, 松永 直樹
Mn をドーピングした CaZrO_3 のプロトン溶解と電気化学特性

電気化学会第82回大会 2015年3月15-17日、横浜国立大学(神奈川県横浜市)(口頭)
9. 奥山勇治, 奥山賢治, 水谷安伸, 酒井孝明, 松本広重
 $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Yb}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ の電流-電圧特性
第 4 0 回固体イオニクス討論会 2014年11月16-18日、東工大(東京都目黒区)(口頭)
10. Y. Okuyama, K. Isa, Y. Lee, T. Sakai, H. Matsumoto
Incorporation of proton in $\text{SrZr}_{0.9-x}\text{Ce}_x\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$
Solid State Protonic Conductors 17, 2014.09.14-19, Seoul(Korea)(poster)
11. 奥山勇治, 米田武寛, 伊佐佳織, 酒井孝明, 松本広重, 酸化物プロトン伝導体のプロトン溶解量に対するカチオン混合効果, 第 39 回固体イオニクス討論会, 2013 年 11 月 20 日, くまもと県民交流館パレア(熊本県熊本市)(口頭)
12. Y. Okuyama, S. Ikeda, T. Sakai, and H. Matsumoto, Incorporation of proton into $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}(\text{M}_x\text{M}'_{1-x})\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M}, \text{M}'=\text{Yb, Y, In}$), The 19th International conference on Solid State Ionics, 3-7, Jun 2013, 京都国際会館(京都府京都市), E079(口頭, ポスター)
13. 奥山勇治
ABO₃ ペロブスカイト型酸化物におけるプロトン溶解の B サイト混合効果, 第 9 回固体イオニクスセミナー, 2013 年 9 月 10 日, 木曾屋(岐阜県下呂市)(若手特別講演)
14. 奥山勇治, 酒井孝明, 奥山賢治, 水谷安伸, 松本広重, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Yb}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ の電気伝導度と PCFC への応用, 第 153 回金属学会秋期大会, 2013 年 9 月 18 日, 金沢大学(石川県金沢市)(口頭)
15. Yuji Okuyama, Kenji Okuyama, Yasunobu Mizutani, Takaaki Sakai, Lee Young Sung and Hiroshige Matsumoto
Proton Transport properties of $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Yb}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ and its application to proton ceramics fuel cell
International Conference on Hydrogen Production 2014, February 2-5, 2014, 九州大学 I2CNER(福岡県福岡市)(poster)
他 3 報

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cc.miyazaki-u.ac.jp/okuyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥山 勇治 (OKUYAMA Yuji)

宮崎大学・テニユアトラック推進機構・准教授

研究者番号: 80613281