

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289246

研究課題名(和文) 異種イオニクス材料間のヘテロ接合界面長制御による電極反応機構の解明

研究課題名(英文) Electrode reaction mechanism analysis using hetero junction boundary length control between ionic conductors.

研究代表者

橋本 真一 (Shin-ichi, Hashimoto)

東北大学・環境科学研究科・准教授

研究者番号：60598473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：固体酸化物燃料電池用空気極において、パターン電極を作製して気相-電極-電解質間の三相界面長の制御を行い、電極反応における三相界面の寄与を定量的に評価する技術を確立した。その結果、従来、気相-電極間の二相界面反応が期待されているLa_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-d}(LSC)の酸素イオン導電性電解質上での電極反応において、より低い温度領域では顕著な三相界面の反応性を観測するとともに、プロトン導電性電解質上でLSCを電極に用いた場合の主たる反応経路も、三相界面であることを見出した。

研究成果の概要(英文)：Recently, composite SOFC (solid state fuel cells) cathodes between the mixed conducting oxides and electrolyte materials are widely examined due to the expectation of reaction site enhancement on triple phase boundary. However, evaluation of quantitative reactivity at triple phase boundary and the detail analysis of reaction process were not enough examined for the mix conducting cathodes. In this study, pattern electrode formation technologies is established to give a quantitative evaluation of activity at triple phase boundary by controlling of the triple phase boundary length and electrode area. As the results, it was found out that interfacial conductivity of La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-d}(LSC) cathode on a CeO₂ based oxide ionic conductor depended on the area specific triple phase boundary length below 873K. Additionally, it was also discovered that cathodic reaction sites of LSC cathode on a proton conducting electrolyte were mainly triple phase boundaries.

研究分野：工学

キーワード：パターン電極 固体酸化物形燃料電池 電極反応経路 酸化物空気極 二相界面反応 三相界面反応

1. 研究開始当初の背景

近年、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は、その低温作動化 (873-1073 K) に伴い、空気極の電極界面反応抵抗の低減が望まれている。低温作動用 SOFC 空気極として、酸素イオン導電性の高い電子-イオン混合導電体が検討されているが、これまで、これらの電極界面における反応の律速段階は、三相界面よりも、酸素の電極表面での解離、または電極バルク内での拡散であることが異なる手法を用いて示されている。しかし、その一方で、電子-イオン混合導電体と電解質材料とのコンポジット化が、電極反応抵抗を低減する効果がある事が数多く報告されており、セル作動におけるデモンストレーションにも応用されている。これは、電極材と電解質の三相界面における電極反応の活性が、電極表面より低くても、三相界面長が十分に長ければ、電極界面反応全体に影響を及ぼすほどの反応のパスになり得ることを定性的に示唆している。しかし、このような電子-酸素イオン混合導電性を有する空気極材の電極反応抵抗の三相界面長依存性を定量的に評価した例は無い。

また、電解質のイオン導電率の活性化エネルギーが低い、プロトン導電性酸化物を用いた Proton conducting Ceramic Fuels Cell (PCFC) は、さらに低い 873 K 以下での作動が期待されており、過電圧低減策として、電子-酸素イオン混合導電性酸化物を空気極に用いる事が検討されている。我々の研究グループで、幾つかの候補と成り得る酸化物をプロトン導電性電解質用空気極として検討した結果、電子-酸素イオン混合導電体として知られる $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSC) が良好な過電圧特性を示した。LSC は酸素空孔を有する事から酸素空孔を介した H_2O の溶解に伴うプロトン導電性の発現に伴う過電圧低減が期待されるが、プロトンの導電経路や、界面における電極反応メカニズムについては明確になっていない。

2. 研究の目的

これらの課題解決のためには、電子-酸素イオン混合導電性空気極材の電極反応において、三相界面における反応の寄与を定量的に評価する必要がある。具体的には、(a) 電極における三相界面長の定量化、(b) 異なる三相界面長を有する電極の電極反応の測定が重要になる。また、プロトン導電性電解質上の LSC の反応機構が明確でない場合、(c) 機器分析による電極反応条件下での反応経路の特定も併せて必要になる。そこで、本研究では、固体電解質を基板とし、空気極として用いられる電子-イオン混合導電体の緻密パターン電極をフォトリソグラフィ技術により作製することで、ヘテロ接合界面長の制御を行い、電気化学的手法により、電極反応全体に対する三相界面での反応の寄与を定量的に評価する技術を確認することを目的とする。また、

この確立した技術を用いて、酸化物イオン導電性酸化物上での電極反応だけではなく、プロトン導電性酸化物上での混合導電性空気極の反応性を調べ、SIMS 等の機器分析と併せて検討することにより、PCFC における空気極の反応機構を解明する。

3. 研究の方法

(1) LSC パターン電極を用いた酸素イオン導電性電解質上の反応場評価

電解質基板は市販 (信越化学製) の $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ (GDC) 粉を一軸加圧によりペレット状に成型し、200MPa の静水圧プレス後、1773 K 10 時間で焼結させて得た。得られた GDC 基板は鏡面研磨加工を行った。パターン電極作製のための $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSC) 薄膜は Nd-YAG レーザーを用いた Pulsed Laser Deposition (PLD) 法にて成膜した。ターゲットは市販 (AGC セイメイケミカル製) の LSC を電解質基板の場合と同様に、加圧成型・静水圧プレス処理を行い、1473 K 10 時間で緻密焼結体を得て用いた。PLD による成膜は、波長 266nm、レーザー出力 0.15W、パルス周波数 10Hz で、基板温度 1073K、酸素分圧 1Pa で 4 時間成膜後、1073K、酸素分圧 10^5Pa の条件下でアニールした。その結果、得られた膜厚は 300nm だった。成膜した GDC 基板上の LSC は三相界面長を規定するため、フォトリソグラフィを用いた MEMS の加工技術を用いて、パターン電極に加工した。Fig.1 にパターン電極の加工例を示す。電極面積を揃え、電極面積/三相界面比 l_{TPB} が、 6.5 cm^{-1} と 344 cm^{-1} のものを作製し、電解質基板の対面および、側面に Pt ペーストおよび、Pt 網もしくは Pt 線を取付けて、対極と参照極を取付けて、測定用電気化学セルとした。LSC パターン電極の電気化学的特性評価は、交流インピーダンス法を用いて行い、酸素分圧依存性 ($P_{\text{O}_2}=10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1\text{ bar}$) および、温度依存性 ($T=873, 973, 1073\text{K}$) をそれぞれのパターンで行った。

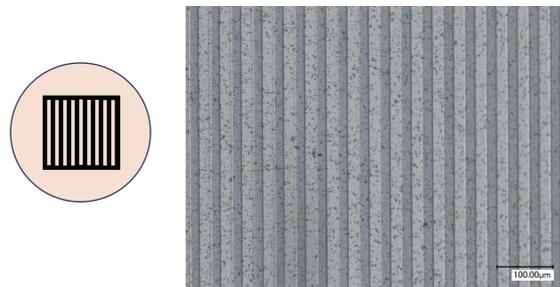


Fig.1 GDC 基板上に作製した LSC パターン電極構造 ($l_{\text{TPB}}=344\text{ cm}^{-1}$)

(2) LSC パターン電極を用いたプロトン導電性電解質上の反応場評価

プロトン導電性電解質上の LSC 電極の反応場を検討するために、電解質基板には $\text{SrZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (SZY) を用いた。一般に酸素空孔

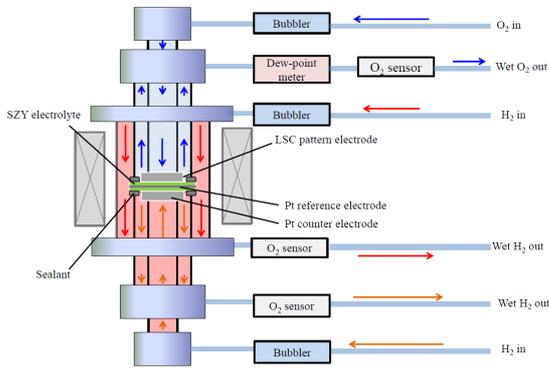


Fig.2 三室チャンバーによる電気化学セル測定系

を介した H_2O の溶解によってプロトンが生じる機構のプロトン導電体は、高酸素分圧下では、プロトン以外に正孔と酸素イオンが併せて導電キャリアに成り得る事が知られている。プロトンの導電経路解明のためには正孔と酸素イオンによる導電を極力排除する必要がある。そこで、プロトン輸率が比較的高い、SZYを採用するとともに、酸素イオン導電性の影響を低減するため、酸素イオン導電性が無視できる 873K を測定温度とした。また、参照極、対極を還元雰囲気に保持することにより、電解質のホール導電性の影響を最小限とし、各電極の雰囲気独立して制御できる Fig.2 に示すような三室チャンバーを用いた測定系を用いて、電極反応を検討した。

SZY 電解質基板は、固相反応法により作製し用いた。パターン電極は、SZY 基板上に Pulsed Laser Deposition 法により LSC 薄膜を成膜後、(1)で確立した MEMS 技術を応用して LSC をパターン電極に加工した。得られたパターン電極は、面積を 0.48cm^2 に揃え、単位面積当たりの三相界面長を 6.5cm^{-1} 、 344cm^{-1} 、 680cm^{-1} に制御されたものを用いた。また、対極には Ni-SZY、参照極 Pt の多孔質電極を用いた。電気化学測定は、873K で行い、各電極の雰囲気は、空気極を酸素分圧 $P_{O_2}=1 \sim 10^{-4}\text{bar}$ 、対極・参照極は水素分圧 $P_{H_2}=10^{-2}\text{bar}$ 、水蒸気分圧は各電極ともに同一に揃えて $P_{H_2O}=0.8\sim 2.3 \times 10^{-2}\text{bar}$ として、各雰囲気は独立して制御した。電気化学測定は、交流インピーダンス法を用い開回路状態で振幅電圧 $10 \sim 20\text{mV}$ 、測定周波数は $1\text{mHz} \sim 1\text{MHz}$ とした。

併せて、機器分析によるプロトンの反応経路を調べた。まず、 H_2O/D_2O 同位体交換処理後の LSC 焼結体および、SZY 上の LSC 薄膜中の D の深さプロファイルを二次イオン分析法 (SIMS, IMS-7f, CAMECA 製) により、測定した。パターン電極の電気化学測定の結果との比較のため、873K、 $P_{O_2}=1.0 \times 10^{-2}\text{bar}$ 、 $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}\text{bar}$ に 20 時間保持して熱処理後、再度、同条件に急速昇温して加湿を H_2O から D_2O に切換えて 5 分保持後、急冷した直後に SIMS 観察を行った。また、LSC のプロトン

の溶解度を確認するために、超微量熱天秤 (D200, Cahn 製) を用いて、比較検討を行った。

4. 研究成果

(1) LSC パターン電極を用いた酸素イオン導電性電解質上の反応場評価

2 種類の三相界面長の異なる LSC パターン電極 ($l_{TPB}=6.5\text{cm}^{-1}$, 344cm^{-1}) を GDC 電解質基板上に形成し、それを用いた電気化学セルを作製して、電気化学特性の温度および、酸素分圧依存性を調べた。Fig.3 に LSC パターン電極の界面導電率 σ_E における温度および、酸素分圧依存性を示す。2 種類の三相界面長の異なる LSC 電極の σ_E を温度比較したところ、973K、1073K では、酸素分圧によらず、三相界面長依存性は確認されなかった。一方で 873K、高酸素分圧領域 ($P_{O_2}>10^{-2}\text{bar}$) では、三相界面長が長いもの ($l_{TPB}=344\text{cm}^{-1}$) の界面導電率が高くなる傾向が見られた。この結果から、LSC の表面交換反応係数 k 、酸素拡散係数 D とともに高い 973K 以上では、二相界面反応が効果的に機能しているため、三相界面の寄与は低いものと考えられた。一方で、より低い温度の 873K では、 k および、 D は低下するとともに、酸素欠損量も低下するため [1]、LSC 上における酸素の三相界面への表面拡散と、二相界面反応との競走反応が生じていることが分かった。Miara らは、 $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$ (LSCF) が、より高温である 1073K においても、電極反応が顕著に三相界面に依存することを報告している [2]。このことから、同じ電子-酸素イオン混合導電体でも、 k 、 D 、酸素不足比性、異常原子価濃度などの違いにより、電極反応における三相界面長依存性に差が生じることが、示唆された。

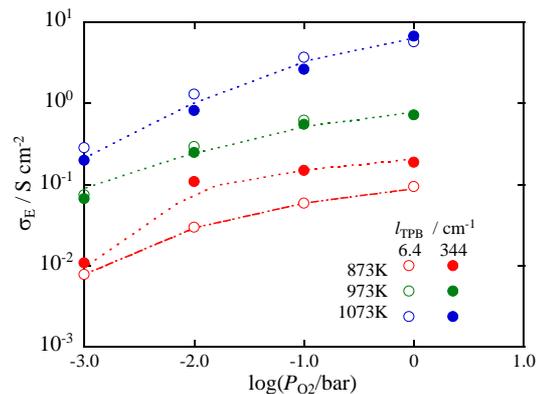


Fig.3 GDC 電解質基板上の三相界面長の異なる LSC パターン電極における界面導電率 σ_E の温度および、酸素分圧依存性

(2) LSC パターン電極を用いたプロトン導電性電解質上の反応場評価

開発した電極作製プロセス技術を用いて、プロトン導電性電解質である SZY 基板上に LSC パターン電極を作製し、その電気化学的

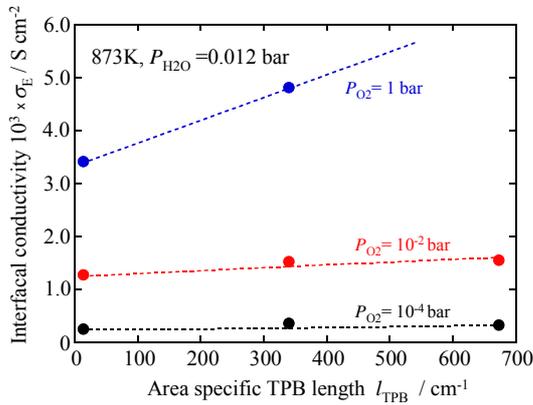


Fig.4 SZY 電解質基板上的 LSC パターン電極における界面導電率 σ_E の三相界面長依存性 (873K, 作用極: $P_{O_2}=10^{-4}\sim 1$ bar, $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}$ bar, 対極、参照極 $P_{H_2}=10^{-2}$ bar, $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}$ bar)

特性を調べるとともに、SIMS 等による機器分析を行い、SZY 電解質上の LSC 空気極における電極反応機構を調べた。Fig.4 に水蒸気分圧 $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}$ bar、873K での、SZY 電解質基板上的 LSC パターン電極における界面導電率 σ_E の三相界面長依存性を示す。高酸素分圧条件下で SZY はホール導電性が発現するため、過電圧は実際の反応過電圧よりも小さく観測されるため、下記に示すような式を用いて、この電解質側のホール導電性の影響を SZY のプロトン輸率で補正して界面導電率を算出した。

$$\sigma_E = \frac{di}{dE} = \frac{di}{d[\frac{RT}{2F} \int_{\ln P(H_2)}^{\ln P(H_2^*)} \tau_i d \ln P(H_2)]} = \frac{\sigma_{real}}{\tau_i}$$

SZY の輸率による補正後も、酸素分圧の上昇とともに界面導電率 σ_E も上昇を示した。一方、今回測定した酸素分圧領域 ($10^{-4} < P_{O_2} < 1$ bar) では、いずれの酸素分圧においても、界面導電率 σ_E の三相界面長依存性も確認された。水蒸気分圧依存性については、SZY セルの電気導電率は水蒸気分圧の上昇とともに顕著に増大したが、界面導電率 σ_E は水蒸気分圧の上昇とともに、僅かに減少したものの、その依存性は非常に小さかった。

電極反応経路をより明確に理解するために、試料の水素-重水素同位体交換処理を行い、SIMS 分析を行った。その結果を、Fig.5 に示す。(a)は SZY 基板上に LSC 緻密薄膜を取付けた試料の SIMS による深さ方向分析、(b)は LSC 緻密焼結体における深さ方向分析の結果である。縦軸はいずれの結果も重水素 D と軽水素 H とのシグナルの強度比で示してあり、水素-重水素同位体交換処理条件は同じ 873K, $P_{O_2}=10^{-2}$ bar, $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}$ bar, 5 分で行った。(a)の SZY

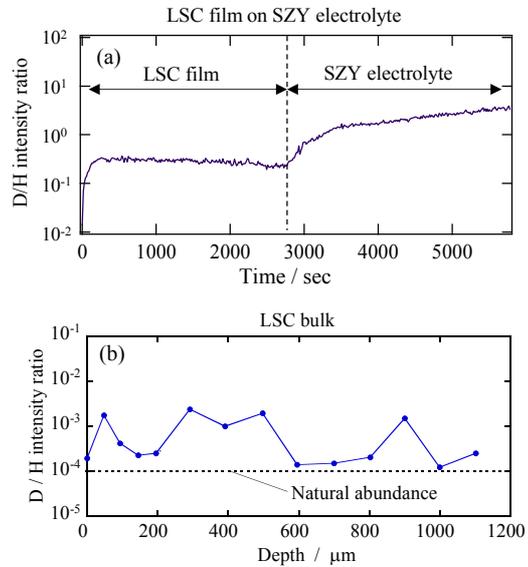


Fig.5 水素-重水素同位体交換処理後の SIMS による深さ方向分析 (a)SZY 基板上に LSC 緻密薄膜を成膜した試料、(b)LSC 緻密焼結体 (同位体交換処理条件:873K, $P_{O_2}=10^{-2}$ bar, $P_{H_2O}=1.2 \times 10^{-2}$ bar, 5 分)

基板上的 LSC 緻密薄膜には、高濃度の D が観測されたが、(b)の LSC 緻密焼結体中では、天然存在比レベルよりわずかに高い濃度の D が、観測される程度であった。また、超微量熱天秤に、乾燥させた LSC をセットし、温度、 P_{O_2} 、 P_{H_2O} を揃えて、重量変化を平衡になるまで待つて観測したところ、Fig.5(a)で LSC 緻密薄膜に溶解した D の重量増と良い一致を示した。したがって、(a)において、H や D はプロトン導電体である SZY を介して、LSC 緻密薄膜に素早く拡散する一方で、(b)の結果が示すように、LSC 表面における水素および、 H^+ の反応性は極めて乏しい事が分かった。

これらの事から、SZY 上の LSC 電極において、LSC 表面での水素および、 H^+ の二相界面反応は限定的であり、気相・SZY・LSC における三相界面反応が主たる反応経路であることを見出した。また、SZY 上の LSC パターン電極の界面導電率の酸素分圧依存性は、酸化物イオン導電体である CeO_2 系電解質上の LSC 緻密電極における表面交換反応係数の変化に類似しており[3]、高酸素分圧下では、 $P_{O_2}^{1/4}$ 、低酸素分圧下では、 $P_{O_2}^{1/2}$ に比例していた。よって、低酸素分圧下では、酸素の LSC 表面における吸着・解離反応、高酸素分圧下では、三相界面近傍の吸着 OH と H との H_2O の生成反応が律速している事が示唆された。

< 引用文献 >

- [1] M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, Oxygen non-stoichiometry and thermochemical stability of $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-\delta}$, *Journal of*

Solid State Chemistry, 197 (2013) 38–45

- [2] Lincoln J. Miara, Soumendr, N. Basu, Uday B. Pal, Srikanth Gopalan, 2D numerical model for identification of oxygen reduction reaction mechanisms in patterned cathodes of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$, *J. Electrochem. Soc.*, 159 (8) (2012) F419-F425
- [3] T. Kawada, K. Masuda, J. Suzuki, A. Kaimai, K. Kawamura, Y. Nigara, J. Mizusaki, H. Yugami, H. Arashi, N. Sakai, H. Yokokawa, Oxygen isotope exchange with a dense $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ electrode on a $\text{Ce}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{O}_{1.9}$ electrolyte, *Solid State Ionics*, 121 (1999) 271-279

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7件)

R. A. Budiman, T. Miyazaki, S. Hashimoto, K. Yashiro, T. Kawada, Determination of oxygen surface exchange constant of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ coated with $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ by isotope exchange technique. *Solid State Ionics*, 査読有, 286 (2016)19-23

川田達也、八代圭司、橋本真一、中低温作動SOFCカソードの基礎物性と組織・界面設計、*Electrochemistry*, 査読有, 83-9 (2015) 739-745

R. A. Budiman, T. Miyazaki, S. Hashimoto, T. Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, Electrochemical Study of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ Film Electrode Fuel Cells, Electrolyzers, and Energy Conversion, *J. Electrochem. Soc.* 査読有, 162-14 (2015) F1445 -F145

R. A. Budiman, T. Miyazaki, S. Hashimoto, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, Surface Modification of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ Film Electrode by $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ Porous Layer Oxygen Electrodes. *ECS Transactions*, 査読有, 66-2 (2015) 161-168

R. A. Budiman, S. Hashimoto, T. Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, and T. Kawada, Oxygen Nonstoichiometry and Electrochemical Properties of $\text{LaNiO}_{3-\delta}$ Oxygen Electrodes, *ECS Transaction*, 査読有, 66-2 (2015)177-183

H. Kudo, K. Yashiro, S. Hashimoto, K. Amezawa, T. Kawada, Simulation of oxygen diffusion process on electrical conductivity relaxation, *Solid State Ionics*, 査読有, 262 (2014) 696–700

H. Sato, K. Yashiro, M. Sasaki, S. Hashimoto, T. Nakamura, K. Amezawa, T. Kawada, Influence of Surface/Interface on the Performance of MIEC Cathode of SOFC, *Ionic and Mixed Conduction Ceramics 9*, *ECS Transactions*, 査読有, 61(1) (2014) 37-46

〔学会発表〕(計 17件)

S. Noda, S. Hashimoto, K. Yashiro, T. Kawada, Cathodic reaction of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ with controlled triple phase boundary length on $\text{SrZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\alpha}$, 18th Solid State Protonic Conductors (SSPC-18), September 18-23, 2016, Oslo, Norway (予定)

野田俊介、鈴木康太、橋本真一、八代圭司、川田達也、プロトン導電性セラミック燃料電池の電極反応、電気化学会第83回大会、2016年3月29日～31日、大阪大学、大阪

星貴也、橋本真一、八代圭司、川田達也、モデル電極を用いたSOFC空気極の反応場評価、固体化学の新しい指針を探る研究会『若手研究者による研究発表会』、2016年3月8日、東京工業大学、東京

Shin-ichi Hashimoto, Riyan Achmad Budiman, Yuya Uzumaki, Kota Suzuki, Honami Kudo, Issei Susuta, Syunsuke Noda, Takaya Hoshi, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, The electrode reaction mechanism analysis and electrode design on SOFC cathode, The 40th International Conference & Exposition on Advanced Ceramics and Composites, January 27, 2016, Daytona Beach, FL U.S.A (招待講演)

Riyan Achmad Budiman, Yuya Uzumaki, Takamichi Miyazaki, Shin-Ichi Hashimoto, Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Determination of Rate Limiting Step in $\text{LaNi}_{0.6}\text{M}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ Film Electrode (M=Fe, Co), 25th Annual Meeting of MRS-Japan 2015, December, 8-10, 2015, Kanagawa Kenmin Hall, Yokohama

Riyan Achmad Budiman, Toshiya Tairako, Atsushi Unemoto, Shin-Ichi Hashimoto, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Oxygen Reduction Process at Two Dissimilar Oxides of Solid Oxide Fuel Cell Cathode, 第41回固体イオニクス討論会, 2015年11月25日～27日、北海道大学、札幌

野田俊介、橋本真一、八代圭司、川田達也、プロトン導電性酸化物上での $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_3$ 空気極における電極反応機構、2015年電気化学秋季大会、2015年9月11日～12日、埼玉工業大学、深谷

R. A. Budiman, 洞巻裕也、宮崎孝道、橋本真一、八代圭司、雨澤浩史、川田達也、ペロブスカイト酸化物電極の酸素交換反応における $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ の共存効果、2015年電気化学秋季大会、2015年9月11日～12日、埼玉工業大学、深谷

R. A. Budiman, T. Miyazaki, S Hashimoto, T Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, T Kawada, Oxygen Nonstoichiometry and Electrochemical properties of $\text{LaNiO}_{3-\delta}$, The 227th meeting of the Electrochemical Society, May, 24-28, 2015, Chicago, U.S.A

R. A. Budiman, T. Miyazaki, S Hashimoto, T Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, T Kawada, Surface Modification of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ Film Electrode by $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ Porous Layer. The 227th meeting of the Electrochemical Society, May, 24-28, 2015, Chicago, U.S.A

野田俊介、鈴木康太、橋本真一、八代圭司、川田達也、プロトン導電性セラミック燃料電池の電極反応、固体化学の新しい指針を探る研究会『若手研究者による研究発表会』、2015年3月9日～10日、東京工業大学、東京

I. Susuta, S Hashimoto, K. Yashiro, T Kawada, Evaluation of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ cathode reaction mechanism by pattern electrode. The 15th Korea-Japan Students' symposium, November 11-12, 2014, Seoul, Korea

R. A. Budiman, S Hashimoto, T Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, and T. Kawada, Electronic conduction Mechanism and Oxygen Nonstoichiometry of $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$, The 15th Korea-Japan Students' symposium, November 11-12, 2014, Seoul, Korea

S. Hashimoto, K. Suzuki, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, Study on cathodic reaction of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ film electrode on proton conducting $\text{SrZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\alpha}$ electrolyte, 17th Solid State Protonic Conductors (SSPC-17), September 18, 2014, Seoul, Korea

須々田一聖、橋本真一、八代圭司、川田達也、 $(\text{La},\text{Sr})\text{CoO}_3$ 空気極の反応場の評価、固体イオニクスセミナー、2014年8月31日～9月2日プラザホテル山麓荘、仙北

Keiji Yashiro, Hiroki Sato, Yuki Gono, Takashi Nakamura, Shin-ichi Hashimoto, Yusuke Tamenori, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Influence of Surface Properties on Oxygen Reduction Reaction of MIEC Cathode. 11th European SOFC & SOEC Forum, Switzerland, July 1-5, 2014

Hiroki Sato, Keiji Yashiro, Mie Sasaki, Shin-ichi Hashimoto, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Influence of Surface/Interface on the Performance of MIEC Cathode for SOFC. The 225th ECS Meeting, Orland, USA, May 11-15, 2014

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

http://www.ee.mech.tohoku.ac.jp/?page_id=1959

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本真一 (HASHIMOTO SHIN-ICHI)
東北大学・環境科学研究科・准教授
研究者番号: 60598473

(2) 研究分担者

雨澤 浩史 (AMEZAWA KOJI)
東北大学・多元物質科学研究所・教授
研究者番号: 90263136

井口 史匡 (IGUCHI FUMITADA)
東北大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 00361113

中村 崇司 (NAKAMURA TAKASHI)
東北大学・多元物質科学研究所・助教
研究者番号: 20643232

(3) 連携研究者

川田達也 (KAWADA TATSUYA)
東北大学・環境科学研究科・教授
研究者番号: 10263136