

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760637

研究課題名(和文)組織配向制御した酸素透過性セラミックスの創製とその効果

研究課題名(英文)Effects of a grain orientation of mixed conductive ceramics on oxygen permeation properties

研究代表者

籠宮 功(Kagomiya, Isao)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40318811

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、高い酸化物イオン-電子混合導電性を示すSrFeO_{3-d}を取り上げ、単結晶/粉末中性子回折、X線回折を行い、結晶構造および酸素欠損構造を調べた。SrFeO_{3-d}は、これまで報告のある結晶対称性よりも低い単斜晶であることを明らかにした。さらに、高温(600, 800)になるにつれ、酸素欠損は特定の酸素サイトに優先的に生じることを見出した。一方で、Sr₃Fe_{207-d}板状粒子を用いたテンプレート粒子成長法によって、SrFeO_{3-d}のc軸方向へ配向したセラミックス試料を作製した。この配向試料の酸素透過速度を、800にて測定した結果、無配向試料に比べ、高い値を示すことが分かった。

研究成果の概要(英文)：We investigated crystal structure and oxygen vacancy formation of SrFeO_{3-d} using single crystal/powder neutron diffraction and X-ray diffraction method. It was found that the crystal symmetry of the SrFeO_{3-d} was monoclinic, which was different from the reported one. With increasing temperature, oxygen vacancies were preferably created at the specific O sites. We prepared a SrFeO_{3-d} ceramics, whose grains were mostly oriented along c-axis. The oxygen permeation flux of the grain oriented sample was higher than that of the non-oriented sample.

研究分野：無機物性

キーワード：混合導電性酸化物 酸素透過性 イオン導電率 結晶構造

1. 研究開始当初の背景

酸素透過性(酸化物イオン・電子混合導電性)セラミックスは、水素を簡単に製造できる次世代エネルギー関連材料として期待が高い。ここで注目する酸素透過性は、メタン/大気間などの酸素分圧差圧環境下の緻密セラミックス間を、互いに逆方向の電子伝導および、酸素欠陥を介した酸化物イオン輸送により、酸素ガスが透過する現象である。このとき、酸素分圧差のみが駆動源であり、その他の外部電力が不要であるため、優れた省エネ効果を発揮する。すなわち酸素透過性セラミックスは省エネ水素製造へのキーマテリアルであり、最近のエネルギー問題の深刻化に伴い、その高性能化が国内外で急がれている。この酸素透過の過程において、熱活性型を特徴とするイオン欠陥輸送が電子伝導に比べ律速段階である。すなわち、温度の下降とともに酸素透過性能の急激な低下を招く。このことが、800 °C以下で実用に要求される高い透過性能の実現を困難にしてきた。900 °C以上の高温では、(1)熱の初期投入量が多い、(2)セラミックスの早期劣化、(3)水素製造改質器の周辺部材が限定されるといった問題がある。これらの解決のために、より低温で高酸素透過性能をもつセラミックスの創出が不可欠となる。

これまで、筆者らは技術的に困難とされていた多孔質基板上に酸化物イオン-電子混合導電性セラミックスの緻密膜(膜厚:約1 μm)を作製することに成功し、これより酸素透過性能の向上を見出した。この向上は、薄膜化によって、酸素イオンの輸送経路長が短縮されたことが一因である。しかし、以上の成果とともにさらなる薄膜化及びそれによる酸素透過性の向上には限度があることが分かってきた。そこで、輸送経路長をより短縮する方法を、薄膜化と別の視点から模索したところ、微視的な結晶構造に着目するに至った。すなわち、酸化物イオンの輸送しやすい結晶方位に配向制御することで、その方向にできるだけ直進させることができれば、輸送経路は極端に短縮できるはずである。以上より、配向制御が酸素透過性の向上へ寄与していると考えているが、この点についてこれまで調べられていなかった。

2. 研究の目的

以上の背景、着想から、本研究では、結晶異方性を有する酸素イオン-電子混合導電性酸化物について、①酸化物イオンの輸送しやすい結晶方位、およびその輸送しやすさを単結晶・粉末回折実験から検討する。②その輸送しやすい方位をそそえた配向セラミックスを創製する。これより、この配向制御が

酸素透過性、酸化物イオン導電性及ぼす効果を明らかにする。配向制御を対象とする酸化物として、高い混合導電性を示す $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ ($\delta \approx 0.25$)(SFO113)を主に取り上げた。

3. 研究の方法

(1) 単結晶回折実験に用いる SFO113 単結晶を 溶融法によって作製した。

作製した単結晶 SFO113 を用い、オーストラリア核科学技術機構(ANSTO)に設置された単結晶中性子回折測定装置(Koala)を使用し、空間格子ならびに空間群を決定した。一方で、単結晶 X 線回折(Bruker AXS)を室温にて行い、これより収集した回折反射データについて、上記の中性子回折により得られた空間群に基づいて、初期構造の決定、結晶構造の精密化を行った。

高温(600, 800 °C)での結晶構造を評価するために、ANSTO に設置された高分解能粉末中性子回折装置(Echidna)にて回折データを収集した。この回折データについて、上記の室温の単結晶 X 線回折で得られた構造を初期構造とし、リートベルト解析を行った。ここで用いた SFO113 粉末試料は、下記より得られた無配向焼結体を粉砕し微細粉末としたものを用いた。

(2)無配向の SFO113 焼結体は、通常の固相反応法により作製した。原材料として、 SrCO_3 (純度:99.5%)、 Fe_2O_3 (純度:99.99%)を用い、湿式ボールミル法にて混合した。その後乾燥させた混合粉末を 1000 °C×12 h でか焼し、200 MPa で CIP 成形を行った。得られた成形体を 1370 °C×10 h の条件で本焼成を行った。

配向制御を施した SFO113 焼結体は $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_7$ (SFO327)テンプレート板状粒子を用いた RTGG 法(Reactive templated grain growth 法)にて作製した。板状粒子 SFO327 を作製する方法として溶融塩法を用いた。原料粉末には SrCO_3 (純度 99.5%)、 Fe_2O_3 (純度 99.99%)を使用し、SFO327 の組成式に従い混合した粉末を 1100 °C×12 h でか焼した。このか焼粉に、KCl(純度 99.5%)を重量比 1:1 になるように加え、湿式混合を行った。乾燥後、白金坩堝中に入れて、1200 °C×20 h (昇温/降温速度:5 °C/min)で結晶成長させた。得られた粉末は、室温、蒸留水中で超音波洗浄および吸引ろ過を行い、KCl を除去した。

以上より得られた SFO327 テンプレート板状粒子と Fe_2O_3 が SFO113 になるように秤量を行った。その後、重量比が、(板状粒子 SFO327+ Fe_2O_3):か焼粉 SFO113 = 1:2 or 1:3

になるように、か焼粉 SFO113 を秤量した。秤量した粉末に、溶媒としてトルエンを加え、混合およびの脱泡処理を行った。得られた液体に可塑剤、および結合剤を加え、

混合/脱泡処理を行い、スラリーとした。本実験においては可塑剤としてトルエンで希釈した 20%フタル酸ジブチル、結合剤としてアクリル系樹脂(オリコックス KC-7025T)を使用した。上記スラリーの配合条件を表 1 に示す。

表 1 スラリーの配合重量比

試料	溶媒	結合剤	可塑剤
100	20	35	2.5

調整したスラリーについて、ドクターブレード装置(コントローラーコーター 株式会社井元製作所)を用いてブレード高さ 80 μm 、キャスト速度を 2.5 cm/s の条件でシート成形を行った。室温で 1 h 乾燥させた後、30 $^{\circ}\text{C}$ の乾燥機で 24 h 乾燥させて、溶媒を取り除いた。乾燥後、シートを 15 mm 四方に切り出し、金型に積層させて 90 $^{\circ}\text{C}$ でホットプレス成型(35 MPa \times 1 min)及び、冷間等方圧加圧法(CIP)(100 MPa \times 2 min)によりシート間を圧着させて、積層体を得た。得られた積層体は 270 $^{\circ}\text{C}$ \times 1 h、450 $^{\circ}\text{C}$ \times 1 h の条件で有機成分を除去し、その後、1300、1340 $^{\circ}\text{C}$ \times 5 h で本焼成を行った。

以上より作製した無配向焼結体および配向制御焼結体の酸素透過速度は、大気(P_{high})/He(P_{low})の酸素分圧差圧環境下にて、750 - 900 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で評価した。石英管と焼結体ペレット間に金リングを用いてガスシールした後に、石英管側に He ガスを流し、焼結体間に酸素分圧差を生じさせた。その際大気側から透過してきた酸素ガスをガスクロマトグラフィーで検出することで、酸素透過速度を測定した。

4. 研究成果

(1) 単結晶中性子回折によって得られた SFO113 の空間格子を表 2 に示す。空間群 $C2/m$ の構造である。これはこれまでの X 線回折により報告されている空間群と異なる。X 線回折に比べて、中性子回折では 2θ の高角度側においても、反射強度が著しく減少することがなく、小さい反射の見落としを防げたことから、より正確な空間群を求めることができたと考えている。

表 2 中性子回折により決定された空間格子
空間群 $C2/m$

$a = 21.8838(1) \text{ \AA}$	$\alpha = 90^{\circ}$
$b = 15.4385(1) \text{ \AA}$	$\beta = 134.996(1)^{\circ}$
$c = 15.4732(1) \text{ \AA}$	$\gamma = 90^{\circ}$

$C2/m$ を踏まえ、単結晶 X 線回折より精密化した結晶構造を図 1 に示す。ペロブスカイト構造に酸素欠陥が生じることで、 FeO_n 四面

体/八面体が存在し、それらが歪んでいるため、通常のペロブスカイトに比べて長周期な構造を形成したことが分かる。

粉末中性子回折測定より、600, 800 $^{\circ}\text{C}$ においても、室温と同様の空間群 $C2/m$ の構造を有していることが確認された。しかし、酸素欠損に着目すると、温度の上昇により、特定の酸素サイトが優先的に欠損し、 b 軸方向に一次元的なチャンネル構造を形成していることが確認できた。(図 2)

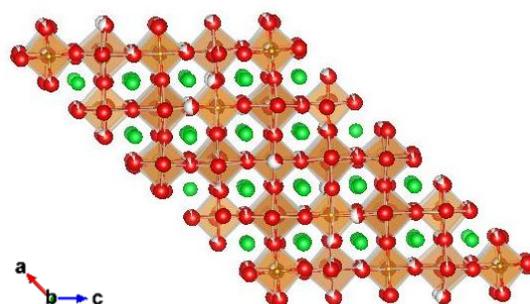


図 1 室温における $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ の結晶構造。 FeO_n 多面体間に Sr イオンが存在する。白抜きは、その酸素サイトに酸素欠損の存在することを意味する。

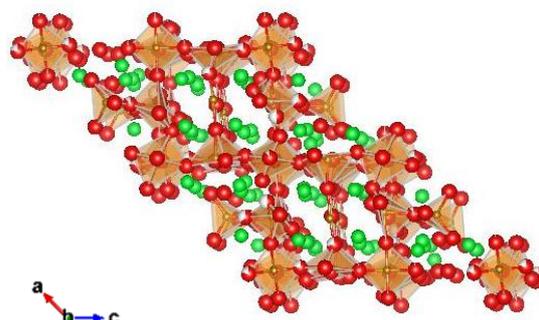


図 2 800 $^{\circ}\text{C}$ における $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ の結晶構造。

(2) RTGG 法にて、配向性 SFO113 を作製するために、まずグリーンシートの状態で SFO327 テンプレート粒子が配向しているか確認した。上述のとおり作製したスラリーをテープシート成形し、散乱ベクトルをシート面と垂直とし粉末 X 線回折を行ったところ、SFO327 の c 面(00 l)に相当する反射強度が増加傾向を示した。熔融塩法によって作製した SFO327 は c 面方向に成長した板状粒子であるため、テープ成形により SFO327 の c 面の配向制御可能であることを確認した。

表 3 に SFO327 テンプレート粒子とか焼粉 SFO113 との混合重量比が 1:2 の条件で作製した積層体 SFO113 の 25 $^{\circ}$ 周辺における放射光 X 線回折測定結果(高エネルギー研究所・PF・4B2 による)を、無配向の場合のシミュレーション結果と併せて示す。放射光 X 線回折測定により、 c 軸方向のピークが顕著に検出され

た。以上の結果より混合比 1:2 の条件で、RTGG 法により c 軸方向に配向した SFO113 の作製が可能となった。

表 3 放射光粉末 X 線回折における相対反射強度

2θ [°]	(hkl)	相対反射強度	
		積層体	シミュレーション
25.271	004	100	46
25.300	440	0	98

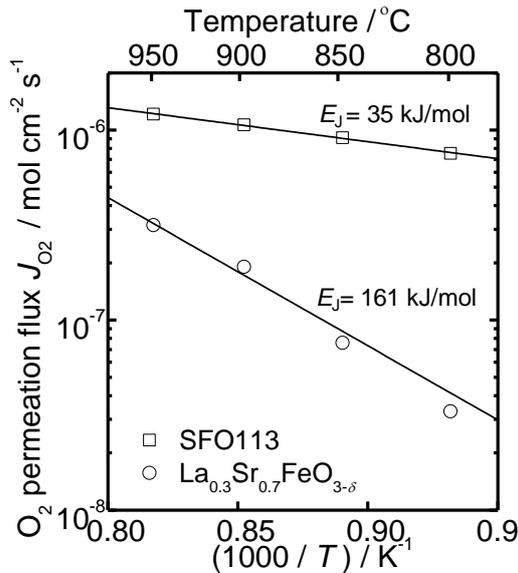


図 3 酸素透過速度のアレニウスプロット

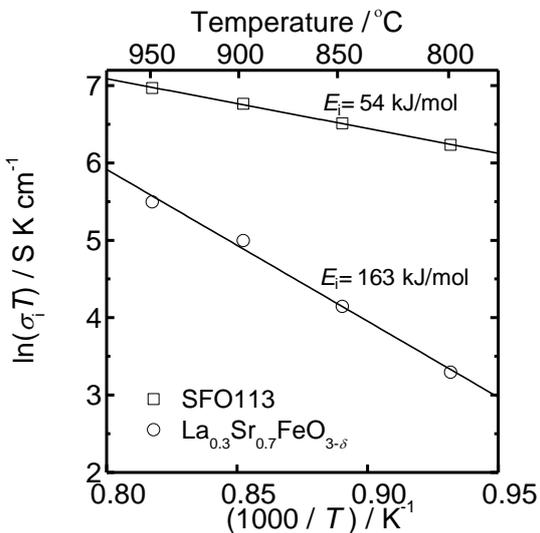


図 4 イオン導電率のアレニウスプロット

図 3 に無配向 SFO 焼結体の酸素透過速度のアレニウスプロットを示す。図 3 には比較のため、混合導電性酸化物の典型例の一つであるペロブスカイト $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{FeO}_{3-\delta}$ の場合についても併せて示した。SFO113 は、典型例 $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{FeO}_{3-\delta}$ に比べて、高い酸素透過速度を示すことが分かる。またアレニウスプロット

の傾きから見積もられる活性化エネルギーは、 $E_j = 35 \text{ kJ/mol}$ であった。これは他の典型例である Fe 系ペロブスカイトに比べても低い値である。

図 4 に酸素透過速度の酸素分圧依存性から見積もられた酸化イオン導電率のアレニウスプロットを示す。イオン導電率においても酸素透過速度の場合と同様に、各温度で典型例である $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{FeO}_{3-\delta}$ よりも SFO113 は高い値を示した。またこのアレニウスプロットの傾きより見積もられた活性化エネルギーは、 $E_i = 54 \text{ kJ/mol}$ であり、典型例に比べて低い。以上の結果より、高い酸化イオン導電が、この系の高い酸素透過速度を実現していると考えられることができる。

表 4 に、 800°C における無配向と配向制御した SFO113 焼結体の酸素透過速度を示す。 P_{low} 側の He 流量を 20-40 sccm に変化させた際にいずれの試料においても、酸素透過速度は増加した。He 流量を多くすると P_{low} 側の酸素分圧が下がり、酸素分圧差が大きくなるためである。両者を比較すると、配向制御した試料の方が、無配向試料に比べて酸素透過速度が高い。また、He 流量が増加するとともに、配向試料の酸素透過速度の方がより急激に大きくなるのが分かる。He 流量が 40 sccm のときの配向試料の酸素透過速度は、無配向試料の場合に比べて約 3 倍高い。

表 4 800°C における無配向と配向制御した SFO113 焼結体の酸素透過速度

He 流量 [sccm]	酸素透過速度 [$\mu\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	
	無配向試料	配向試料
20	0.51	0.59
30	0.53	1.03
40	0.54	1.45

以上の結果を踏まえ、SFO113 のイオン輸送機構について議論する。他の混合導電性酸化物の典型例である Fe, Co 系ペロブスカイトにおいては、ペロブスカイト B サイト周囲の酸素 8 面体の一部にランダムに酸素欠陥が生成され、その欠陥が B サイトイオンを中心に円弧を描くように、最隣接の酸素サイトに移動することが知られている。一方、SFO113 の場合、上記と同様なペロブスカイトの B サイト (Fe) 周囲に注目すると、ランダムに酸素欠陥が存在しているわけではなく、ある特定のサイトに優先的に欠陥が生成している。(図 2) このことから、上記の典型例と同様に欠陥が最隣接の酸素サイトにランダムに移動するとは考えにくい。もしそうであれば、高温で酸素サイトに依らず、ランダムに欠陥が生成するように見えるはずである。しかし、実験結果によれば、上述のようにランダムな欠陥は確認できず、高温でも欠陥が特定サイトに優先的に存在し、1 次元的なチャンネル構造を形成している。したがって、この特定方

向に優先して酸化物イオンが輸送しようと考えている。このチャンネル構造内でのイオン伝導が高く、その結果として、典型例である他の Fe,Co 系ペロブスカイトに比べ、高い酸素透過速度を示したと考えている。

c 軸方向に配向制御した SFO113 試料の方が、無配向試料に比べ高い酸素透過速度を示したことも以上のことと関連していると考えている。c 軸方向には、b 軸方向のように完全なチャンネル構造は形成されていないが、c 軸方向に並んだ酸素サイトの一部には、欠陥が多く存在する。この欠陥の多い c 軸方向に並んだ酸素サイトを介したイオン輸送が、酸素透過速度の向上に寄与したと考えている。

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 3 件)

- I. Kagomiya, K. Jimbo, K. Kakimoto, M. Nakayama, O. Masson, "Oxygen vacancy formation and the ion migration mechanism in layered perovskite (Sr, La)₃Fe₂O_{7-δ}", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **16**, 10875-10882 (2014). (審査有).
- I. Kagomiya, Y. Shimono, K. Kakimoto, "Oxygen Permeation and Oxide Ion Conductivity of Ta-substituted (La, Sr)CoO_{3-δ}", *Solid State Ion.* **262**, 664-667 (2014). (審査有).
- I. Kagomiya, K. Jimbo, K. Kakimoto, "Distribution change of oxygen vacancies in layered perovskite type (Sr, La)_{n+1}Fe_nO_{3n+1} (n = 3)", *J. Sol. Stat. Chem.* **207**, 184-189 (2013). (審査有).

[学会発表] (計 31 件)

- I. Kagomiya, K. Jimbo, R. Kaneko, K. Kakimoto, M. Nakayama, O. Masson: "Dependent Ionic Transport Properties in layered perovskite (Sr,La)₃Fe₂O_{7-δ}", (20150125-0129). Florida, USA.
- 大山 裕斗・籠宮 功・柿本 健一: "スピン転移付近における LaCoO₃ のイオン伝導挙動", 平成 26 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会.(20141206). 名古屋工業大学.
- 籠宮 功・神保 圭吾・柿本 健一・中山 将伸・Olivier Masson: "(Sr,La)₃Fe₂O_{7-δ}層状ペロブスカイトにおける酸化物イオンの欠陥構造と輸送機構", 第 40 回固体イオニクス討論会. (20141116-1128). 東京工業大学.
- 白川 史朗・籠宮 功・柿本 健一: "混合導電性 SrFeO_{3-δ}の欠陥構造および酸化物イオン輸送挙動" 日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム.(20140909-0911). 鹿児島大学.
- 籠宮 功・神保 圭吾・柿本 健一・中山 将伸・Olivier Masson: "層状ペロブスカイト (Sr,La)₃Fe₂O_{7-δ}の酸素欠損とイオン輸送",

日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム.(20140909-0911). 鹿児島大学.

- I. Kagomiya, Y. Shimono, K. Kakimoto: "Relation between Oxygen Permeation Properties and Lattice Distortion of (La, Sr)(Co,Ta)O₃", International Union of Materials Research Societies, International Conference in Asia 2014. (20140824-0830). 福岡大学.
- Y. Hirota, I. Kagomiya, K. Kakimoto: "Oxygen Permeation property and Crystal Structure of (Sm,Ca)FeO₃", International Union of Materials Research Societies, International Conference in Asia 2014. (20140824-0830). 福岡大学.
- 沢村 俊貴・籠宮 功・柿本 健一: "LaCoO₃ のスピン転移に伴う酸化物イオン伝導異常" 日本セラミックス協会 2014 年年会. (20140317-0319). 慶応義塾大学.
- 金子 亮介・籠宮 功・柿本 健一: "(Sr,La)₃(Fe,Ga)₂O₇ の合成と酸素透過性評価" 日本セラミックス協会 2014 年年会. (20140317-0319). 慶応義塾大学.
- 上原 拓峻・籠宮 功・柿本 健一: "混合導電性酸化物 Ca₂Fe₂O₅ の酸素透過特性" 日本セラミックス協会 2014 年年会. (20140317-0319). 慶応義塾大学.
- Y. Shimono, I. Kagomiya, K. Kakimoto: "The oxide ion conductivity of new mixed conductive material La-Sr-Co-Ta oxides" 第 52 回セラミックス基礎科学討論会. (20140109-0110). 名古屋.
- 白川 史朗・籠宮 功・柿本 健一: "混合導電性 SrFeO_{3-δ}の酸化物イオン欠損秩序と高酸素透過特性" 平成 25 年度 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会. (20131207). 名古屋大学.
- 籠宮 功・神保 圭吾・柿本 健一: "(Sr, La)_{n+1}Fe_nO_{3n+1} (n = 3)における酸素欠陥分布" 第 39 回 固体イオニクス討論会. (20131120-22). 熊本.
- 廣田 有貴・籠宮 功・柿本 健一: "Ca ドープした SmFeO₃ の結晶構造と酸素透過特性" 日本セラミックス協会 第 26 回秋季シンポジウム. (20130904-0906). 信州大学.
- Isao Kagomiya, Seiji Takeda, Shiro Shirakawa, Ken-ichi Kakimoto: "Oxygen vacancies formation of mixed conductive SrFeO_{3-δ}" 13th International Conference of the European Ceramic Society. (20130623-0627). Limoges, France.
- 白川 史朗・籠宮 功・柿本 健一: "混合導電性 SrFeO_{3-δ}の酸化物イオン欠陥構造" 東海若手セラミスト懇話会第 46 回 2013 年夏期セミナー. (20130620-0621). 犬山.
- 金子 亮介・籠宮 功・柿本 健一: "Fe 系層状ペロブスカイト酸化物のイオン伝導" 東海若手セラミスト懇話会第 46 回 2013 年夏期セミナー. (20130620-0621). 犬山.
- 廣田 有貴・籠宮 功・柿本 健一: "混合導電

- 性 $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ の酸化物イオン欠損構造” 東海若手セラミスト懇話会第 46 回 2013 年夏期セミナー. (20130620-0621). 犬山.
- ・ 籠宮 功・神保 圭吾・柿本 健一・中山 将伸: "Sr-La-Fe 系層状ペロブスカイトにおける酸化物イオンの欠陥構造と輸送機構" 第 38 回 固体イオニクス討論会. (20121203-1205). 京都.
 - ・ 下野 義人・籠宮 功・柿本 健一: "La-Sr-Co-Ta 系新規混合導電性酸化物のイオン伝導特性" 第 38 回固体イオニクス討論会. (20121203-1205). 京都.
 - ・ 廣田 有貴・籠宮 功・柿本 健一: "新規混合導電性酸化物(Sm,Ca) FeO_3 の酸素透過特性" 平成 24 年度セラミックス協会東海支部学術研究発表会. (20121201). 名古屋.
 - ・ I. Kagomiya, K. Jinbo, R. Kaneko, K. Kakimoto and M. Nakayama: "Oxygen Deficiency Behavior in Mixed Conductive Layered Perovskite (Sr, La) $_{n+1}\text{Fe}_n\text{O}_{3n+1}$ ", The 29th International Korea-Japan Seminar on Ceramics. (20121121-20121124). Daegu, Korea.
 - ・ 籠宮 功・神保 圭吾・柿本 健一・中山 将伸: "層状ペロブスカイト $\text{Sr}_x\text{La}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_{7-\delta}$ の酸素欠損構造と酸化物イオン輸送機構" 第 43 回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会. (20121110-20121111). 名古屋.
 - ・ 下野 義人・籠宮 功・柿本 健一: "La-Sr-Co-Ta 系新規混合導電性酸化物の酸化物イオン伝導特性" 第 43 回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会. (20121110-20121111). 名古屋.
 - ・ I. Kagomiya, S. Takeda, K. Kakimoto and N. Ishizawa: "Structural characterization and oxide vacancies formation of mixed conductive $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ single crystals" 5th International Workshop on Advanced Ceramics (IWAC05). (20120909-20120911). London, UK.
 - ・ Y. Shimono, I. Kagomiya, K. Kakimoto: "The oxide ion conductivity of mixed conductive La-Sr-Co-Ta oxides" 5th International Workshop on Advanced Ceramics (IWAC05). (20120909-20120911). London, UK.
 - ・ 神保圭吾・籠宮 功・柿本健一: "層状ペロブスカイト (Sr,L a) $_{n+1}\text{Fe}_n\text{O}_{3n+1}$ 中の酸化物イオン伝導経路" 日本セラミックス協会 2012 年年会. (2012 年 3 月 21 日). 京都
 - ・ 武田 誠司・籠宮 功・石澤 伸夫: "混合導電性酸化物 $\text{Sr}_n\text{Fe}_n\text{O}_{3n-1}$ 単結晶の酸素欠損及び構造評価" 第 50 回セラミックス基礎科学討論会. (2012 年 1 月 12 日). 両国.
 - ・ 堀田 明日香・籠宮 功: "斜方晶ペロブスカイト YFeO_3 の酸素欠陥導入とその導電特性" 第 50 回セラミックス基礎科学討論会. (2012 年 1 月 12 日). 両国.
 - ・ K. Jimbo, I. Kagomiya and K. Kakimoto: "Formation and Conduction Mechanism of Oxygen Vacancy in Layered Perovskite Type Oxide (Sr,L a) $_{n+1}\text{Fe}_n\text{O}_{3n+1}$ " ICE2011. (2011 年 12

月 15 日). Sydney, Australia.

- ・ 神保圭吾・籠宮 功・柿本健一: " (Sr, La) $_3(\text{Fe, Co})_2\text{O}_{7-\delta}$ セラミックスの作製および電気伝導評価" 平成 23 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会. (2011 年 12 月 3 日). 名古屋.
- ・ 神保 圭吾・柿本 健一・籠宮 功: "Sr-La-Fe ペロブスカイト系酸化物における電気伝導率の酸素分圧依存性" 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム. (2011 年 9 月 9 日). 北海道.

[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]

無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

籠宮 功 (KAGOMIYA Isao)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 40318811