

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25288109

研究課題名(和文) 触媒活性の最適制御による固体電解質型ガスセンサの高性能化

研究課題名(英文) Development of high-performance solid-state electrochemical gas sensors by controlling their catalytic activities.

研究代表者

三浦 則雄 (MIURA, Norio)

九州大学・産学連携センター・教授

研究者番号：70128099

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自動車排ガス監視用及び環境モニタリング用の高性能な固体電気化学式ガスセンサの開発を目的とした。イットリア安定化ジルコニア(YSZ)固体電解質と、微細構造や化学組成及び結晶構造を制御した様々な酸化物や金属ナノ粒子を用いた検知極とを組み合わせることで、種々のガスセンサを作製した。得られたガスセンサの検知極とYSZとの界面での電気化学反応の触媒活性と、検知極層での気相反応の触媒活性とを制御することにより、いくつかの新規な高性能電気化学式ガスセンサが得られた。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop high-performance solid-state electrochemical gas sensors for monitoring automobile exhausts and air pollutants. We fabricated various kinds of gas sensors by using an yttria-stabilized zirconia (YSZ) as a solid electrolyte as well as various oxides (or metal nanoparticles) as sensing electrodes (SE) which were designed their microscopic structures, chemical compositions and crystal structures. As a result, novel high-performance electrochemical gas sensors were developed by controlling catalytic activities of electrochemical reactions at the SE/YSZ interface as well as gas-phase reactions in the SE layer.

研究分野：電気化学

キーワード：安定化ジルコニア 固体電解質 ガスセンサ 混成電位 環境汚染ガス 固体電気化学 揮発性有機化合物 炭化水素

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車や種々の産業プロセスから排出される大気汚染物質による都市部での大気環境悪化は深刻である。特に、自動車排ガス中の NO_x、CO、炭化水素に対しては、世界的に厳しい規制が行われており、今後も規制は益々強化されつつある。そのため、燃費向上とともに排ガス量を大幅に低減させる必要があるし、この目的のための新型排ガス浄化触媒を最適に作動させるためには、各排ガス成分の濃度を高精度に監視できる高性能センサが必要である。また、VOC や炭化水素などの大気環境汚染ガスのモニタリング用には、HPLC や GC-FID などの高価な大型分析装置が用いられているが、これらに代わる低価格で小型の超高感度センサの開発が切望されている。

熱的、化学的安定性が非常に高いイットリア安定化ジルコニア (YSZ) は、自動車空燃比 (酸素) センサ用の基本構成材料として 40 年近くも使われており、世界で年間 1 億個以上の素子が生産されている。固体電解質センサは、応答信号の種類によって平衡電位型、混成電位型、電解電流型、複素インピーダンス型に分類することができる。このうち、固体電解質を隔壁としたガス濃淡電池を形成する最も基本的な応答方式である平衡電位型センサとしては、上記の実用空燃比センサがこれに分類される。車載用排ガスセンサについては種々のタイプが提案、検討されてきたが、半導体センサについてはガス選択性や排ガス中での安定性の低さのために開発例は少ない。これに対して、YSZ を素子の主構成材料に用いた固体電解質センサについては最も実用性が高く、NO_x センサではすでに一部実用化されている。一方、環境モニタリング用高感度ガスセンサとしては、半導体式、水晶振動式、電気化学式及び光学式等が提案、検討されてきたが、十分な性能を示すものはまだ実用化されていない。

一方、酸化物イオン導電体である YSZ を用いたガスセンサについては、種々の無機塩を検知極補助相とした平衡電位検出方式の NO_x、CO₂、SO_x センサ、印加電位の最適化や独自のパルス電位印加法を採用した電解電流検出方式の NO_x や炭化水素センサ、また、我々が新たに提案した複素インピーダンス検出方式のトータル NO_x センサなど、多くの新規でオリジナルな報告を行ってきた。さらに、混成電位型ジルコニアガスセンサについては、金属酸化物を主要な検知極構成材料として用いた数多くの独自のセンサを提案、検討している。このように固体電解質ガスセンサでは、検知極材料を選ぶことで被検ガス種や検知濃度範囲を大幅に変化できる。また、同じ検知極材料を用いた場合でも、応答特性は用いる材料の性状や作動条件によっても大きく変化することを、我々のこれまでの長年の研究で明らかにしてきた。

そこで、本提案研究ではこれらの成果をベ

ースとして、検知極材料の種類や組成、検知極自体や界面の物理的・化学的狀態を変化させ、センサ応答に關与する気相反応や電気化学反応の各触媒活性を最適制御して、これまでに例のない画期的で優れた応答特性を引き出すことができる高性能な実用的固体電解質型ガスセンサの開発を目指した。

2. 研究の目的

応答信号として起電力、電解電流、インピーダンスなどの変化を利用する固体電解質センサにおいては、被検ガス種と検出方式との組合せや検知極材料の選択により、特異的な選択的応答が達成でき、検知特性の飛躍的な改善や作動条件の大幅な拡大ができる可能性がある。そのため、自動車排ガスなどの過酷な条件下での検出や大気環境モニタリングのような極低濃度ガスの検出、さらには省電力型の電池駆動式センサの実現というような大きなポテンシャルを有している。そこで本研究では、特に酸化物イオン導電体を素子の基本構成材料とした固体電解質センサについて、検知極層のモルフォロジ、結晶構造、化学組成などの物理的・化学的狀態を変化させて気相反応触媒活性を制御すると同時に、検知極/固体電解質界面における電気化学反応の触媒活性を最適制御することにより、さらにまた、詳細な特異検知特性発現メカニズムを明確にして材料設計や触媒活性制御にフィードバックすることにより、これまでに例のない画期的で優れたガス検知特性を引き出すことができる実用的で高性能な固体電解質センサの開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、YSZ を固体電解質として用いたセンサ素子において、電気化学活性および気相触媒活性を制御して優れた応答特性を引き出すために、種々の検知極材料について評価を行った。センサ素子の基本構成材料として、YSZ 管を用いた。この YSZ 管の外側表面に、種々の金属酸化物をペースト状にしたものを塗布し、乾燥させた後、1000 以上で焼成することで検知極を形成した。また、YSZ 管の内側表面に Pt ペーストを塗布し、焼成したものを参照極として用いた。このようにして作製したセンサ素子を石英セルに入れ、所定の温度において、種々の被検ガス (CO, H₂, CH₄, C₃H₆, C₃H₈, NO, NO₂, NH₃) をそれぞれ流通させた。この時の検知極と参照極との電位差 (起電力) を素子のセンサ信号としてエレクトロメータにより測定した。

得られたセンサ素子の検知極層、気相触媒層および電極界面について、SEM、XRD、XPS、EDX 等を用いて形状、結晶構造、微細構造、組成などの詳細な観察、分析、解析を行った。また、電気化学的触媒活性の評価法としては、複素インピーダンス測定によるナイキストプロット解析、種々のガス雰囲気下におけるカソードおよびアノード

ク分極曲線の測定と解析を行った。さらに、分子動力学シミュレーションを用いて、YSZ 表面に対するガスの吸着特性を解析・評価した。

4. 研究成果

各年度の主な研究成果をまとめて下記に示す。

(平成25年度)

1) 検知極材料として酸化タンタルと酸化亜鉛との混合組成比と焼成条件を最適化し、さらに高温での長期間の加熱安定化により、水素に対して高感度かつ高選択的な応答を示す YSZ センサが得られた。この長期間の加熱安定化では、検知極の表面組成や表面状態が安定化されて、水素の気相触媒活性が大幅に低減されることにより、水素に対する優れた応答特性が発現することが分かった。

2) 酸化ニッケルを検知極に用い、酸化スズ触媒層とアルミナガス拡散バリア層を組み合わせることにより、揮発性有機化合物 (VOC) に対して高感度な YSZ センサを得た。本素子は、触媒層でエタノールなどの干渉ガスを選択的に燃焼させることにより、トルエンなどの VOC のみが検知極界面に到達し、その結果、ppb オーダーの低濃度の VOC の選択的な検知ができることが分かった。

3) 分子動力学シミュレーションを用いて、室温および 500 における YSZ 表面への NO の吸着挙動を解析したところ、YSZ の表面酸化状態の違いにより吸着特性が変化することが分かった。この結果から、YSZ を固体電解質に用いたガスセンサにおけるガス検知メカニズムに対する有益な知見が得られた。

(平成26年度)

1) 種々の酸化物に貴金属ナノ粒子を添加した検知極を作製し、5種のガスに対する応答特性を調べた。その結果、ロッド状の酸化チタンに 1 wt.% の Pd ナノ粒子を添加した検知極は、プロパンに対して選択的な応答を示すことが分かった。これは、Pd 添加によって検知極層における気相触媒活性が、特定のガス種において変化するためであることが明らかになった。

2) 混成電位型ガスセンサの作動温度の低温化を目指し、種々の炭素材料を初めて検知極として検討した。その結果、活性炭を用いた場合に 300 で NO₂ の選択的な検知が可能であることを見出した。これまでに報告例のない炭素材料を検知極に用いることにより、YSZ センサの作動温度を低温化できることを発見した点で興味深い成果である。

3) 高価で複雑な素子構造が必要とされる Pt/空気参照極に替わる固体参照極として、様々な酸化物を検討した。その結果、酸化コバルトが 500 以下の温度域で種々のガスに対して不活性であり、YSZ センサの参照極材料として機能することが分かった。さらに、酸化ニッケル検知極と酸化コバルト参照極を用いたプレナー YSZ 素子を試作し、トルエ

ンなどの揮発性有機化合物に対して、数十 ppb の極微量検知ができた。

(平成27年度)

1) 平衡電位応答型のジルコニア酸素センサの検知極材料として、Fe 系ペロブスカイト型酸化物のガス応答特性について調べた。検討した種々の材料の中から、Ba_xSr_{1-x}FeO₃、特に BaFeO₃ が酸素のみに選択的に応答し、ネルンスト式に従った酸素濃度依存性を示すことが分かった。BaFeO₃ 検知極は、繰り返し応答や CO₂ に対する耐久性も優れており、実用化されている高価な Pt 検知極を代替する可能性が示唆された。

2) Zn-Ta-O を検知極に用いた混成電位応答型水素センサの開発を行った。Zn-Ta-O 検知極を 500 において、400ppm の水素を含む窒素中で 14 日間のエージングを行うことで、水素に対する応答感度が 4 倍以上に増大し、水素センサとして優れた特性を示すことが分かった。さらに、Zn-Ta-O 検知極におけるエージング効果について XPS を用いて調べたところ、検知極表面に形成された ZnTa₂O₆ 層が水素に対する応答特性の改善に寄与していることがわかった。

3) 熱的・化学的耐久性に優れた ZrSiO₄ に、電気化学活性が高い Au 微粒子を添加した検知極を有した YSZ センサを作製した。Au 微粒子の添加量を変えて検知応答特性を調べたところ、10wt% の Au を添加した検知極は、水素に対してのみ選択的に応答することが分かった。この検知極の触媒活性を分極測定によって調べたところ、水素に対してのみ高い電気化学反応活性と低い気相触媒反応活性を示すことから、良好なセンサ特性が得られることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件) 全て査読あり

1. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Acceleration of the Aging Process of YSZ-based H₂ Sensor Using Zn-Ta-O Sensing-electrode, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 223, 738-742 (2016), (doi:10.1016/j.snb.2015.09.150)
2. Ayumi Iio, Hiroshi Ikeda, Sri Ayu Anggraini, Norio Miura, Sensing Characteristics of YSZ-based Oxygen Sensors Attached with Ba_xSr_{1-x}FeO₃ Sensing-electrode, *Solid State Ionics*, 285, 234-238 (2016), (doi:10.1016/j.ssi.2015.04.015)
3. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Tuning H₂ Sensing Performance of Zirconia-based Sensor using ZrSiO₄(+Au) Sensing-electrode, *Electrochimica Acta*, 171, 7-12 (2015), (doi:10.1016/j.electacta.2015.05.007)
4. Ayumi Iio, Hiroshi Ikeda, Sri Ayu Anggraini, Norio Miura,

- Potentiometric YSZ-based Oxygen Sensor Using BaFeO₃ Sensing-electrode, *Electrochemistry Communications*, 48, 134-137 (2014), (doi:10.1016/j.elecom.2014.09.004)
5. Yuki Tanaka, Tomoaki Sato, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Cobalt-based Solid Reference-electrode Usable in Zirconia-based Sensors for Detection of Oxygen or Volatile Organic Compounds, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 203, 899-903 (2014), (doi:10.1016/j.snb.2014.07.072)
 6. Tomoaki Sato, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Novel Zirconia-based NO₂ Sensor Attached with Carbon Sensing-electrode, *Electrochemistry Communications*, 46, 60-62 (2014), (doi:10.1016/j.elecom.2014.06.010)
 7. Yuki Fujio, Tomoaki Sato, Norio Miura, Sensing Performance of Zirconia-based Gas Sensor Using Titania Sensing-electrode Added with Palladium, *Solid State Ionics*, 262, 266-269 (2014), (doi:10.1016/j.ssi.2013.08.028)
 8. Norio Miura, Tomoaki Sato, Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Serge Zhuiykov, A Review of Mixed-potential Type Zirconia-based Gas Sensors, *Ionics*, 20, 901-925 (2014), (doi: 10.1007/s11581-014-1140-1)
 9. Tomoaki Sato, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Mixed-potential Type Zirconia-based NH₃ Sensor Using SnO₂-disk Sensing-electrode Attached with Sputtered Au, *ECS Electrochemistry Letters*, 3 (6), B13-B15 (2014), (doi: 10.1149/2.004406eel)
 10. Michael Breedon, Michelle J. S. Spencer, Norio Miura, The Adsorption of NO on YSZ(111) and Oxygen-enriched YSZ(111) Surfaces, *Chemical Physics Letters*, 593, 61-68 (2014), (doi:10.1016/j.cplett.2013.12.075)
 11. Sri Ayu Anggraini, Michael Breedon, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Insight into the Aging Effect on Enhancement of Hydrogen-sensing Characteristics of a Zirconia-based Sensor Utilizing a Zn-Ta-O-based Sensing Electrode, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(22), 12099-12106 (2013), (doi: 10.1021/am403952w)
 12. Sri Ayu Anggraini, Michael Breedon, Norio Miura, Effect of Sintering Temperature on Hydrogen Sensing Characteristics of Zirconia Sensor Utilizing Zn-Ta-O-based Sensing Electrode, *Journal of The Electrochemical Society*, 160(9), B164-B169 (2013), (doi: 10.1149/2.091309jes)
 13. Tomoaki Sato, Michael Breedon, Norio Miura, Reduction in Ethanol Interference of Zirconia-based Sensor for Selective Detection of Volatile Organic Compounds, *Journal of The Electrochemical Society*, 160(9), B146-B151 (2013), (doi: 10.1149/2.007309jes)
- [学会発表](計 34 件)
1. Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, Zirconia-based Sensor Attached with CuCrFeO₄ and CoCrFeO₄ Electrodes for Selective CO Detection, 第 54 回セラミックス基礎科学討論会, 2016.01.07, アバンセ (佐賀県、佐賀市)
 2. Soichiro Yoshida, Hiroshi Ikeda, Sri Ayu Anggraini, Norio Miura, Amperometric Zirconia-based Sensor Attached with NiFe₂O₄ Sensing-electrode for Selective NO₂ Detection, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015), 2015.12.16, Honolulu (USA)
 3. Toshiki Fujii, Hiroshi Ikeda, Sri Ayu Anggraini, Norio Miura, Potentiometric YSZ-based Gas Sensor by Using Graphite as a Novel Sensing-electrode, Pacifichem2015, 2015.12.16, Honolulu (USA)
 4. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Selective CO Detection Using YSZ-based Sensor with a Combination of CuCrFeO₄ and CoCrFeO₄ Electrodes, The 11th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS2015), 2015.11.17, Penang (Malaysia)
 5. Norio Miura, High Performance Solid-State Electrochemical Gas Sensors, ACCS2015, 2015.11.15, Penang (Malaysia)
 6. 吉田 宗一郎, 池田 弘, Sri Ayu Anggraini, 三浦 則雄, スピネル型酸化物を検知極に用いた電流検出型ジルコニアセンサによる選択的 NO₂ 検知, 第 59 回化学センサ研究発表会, 2015.09.12, 埼玉工業大学 (埼玉県、深谷市)
 7. 藤井 利輝, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, YSZ にグラファイト検知極を付加した固体電気化学式 NO₂ センサ, 第 59 回化学センサ研究発表会, 2015.09.12, 埼玉工業大学 (埼玉県、深谷市)

8. 吉田 宗一郎, 池田 弘, Sri Ayu Anggraini, 三浦 則雄, NiFe₂O₄ 検知極を用いた電流検出型ジルコニアセンサによる NO₂ 検知, 第 52 回化学関連支部合同九州大会, 2015.06.27, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
9. 藤井 利輝, 池田 弘, Sri Ayu Anggraini, 三浦 則雄, YSZ にグラファイト検知極を付加した混成電位型ガスセンサ, 第 52 回化学関連支部合同九州大会, 2015.06.27, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
10. 三浦 則雄, 高性能固体電気化学式ガスセンサの開発, 第 58 回化学センサ研究発表会, 2015.03.15, 横浜国立大学 (神奈川県、横浜市)
11. 一川 莉乃, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, Au/Ta₂O₅ 積層検知極を用いたブレナー型 YSZ センサの水素検知特性, 第 58 回化学センサ研究発表会, 2015.03.15, 横浜国立大学 (神奈川県、横浜市)
12. 飯尾 歩美, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, BaFeO₃ 検知極と Mn 系固体参照極を組み合わせたジルコニア酸素センサ, 第 58 回化学センサ研究発表会, 2015.03.15, 横浜国立大学 (神奈川県、横浜市)
13. Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, Aging Effect and Mechanism in Enhancing Sensitivity and Selectivity of Zirconia-based H₂ Sensors Using Zn-Ta-O Sensing Electrode, 第 40 回固体イオニクス討論会, 2014.11.18, 東京大蔵前会館 (東京都、目黒区)
14. 飯尾 歩美, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, 鉄系ペロブスカイト型酸化物を新規検知極としたジルコニア酸素センサ, 第 40 回固体イオニクス討論会, 2014.11.18, 東京大蔵前会館 (東京都、目黒区)
15. 飯尾 歩美, 池田 弘, 三浦 則雄, ペロブスカイト型酸化物を検知極とした新規ジルコニア酸素センサ, 第 57 回化学センサ研究発表会, 2014.09.27, 北海道大学 (北海道、札幌市)
16. 一川 莉乃, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, Au/Ta₂O₅ 検知極を用いた混成電位型ジルコニアセンサの水素検知特性, 第 57 回化学センサ研究発表会, 2014.09.27, 北海道大学 (北海道、札幌市)
17. Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, Stabilization process acceleration during the aging of YSZ-based H₂ sensor, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 2014.06.28, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
18. 飯尾歩美, 池田 弘, 三浦 則雄, 酸化物系新規検知極材料を用いたジルコニア酸素センサの特性評価, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 2014.06.28, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
19. 一川莉乃, Sri Ayu Anggraini, 池田 弘, 三浦 則雄, YSZ に Au/Ta₂O₅ 検知極を付加した固体電気化学式水素センサ, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 2014.06.28, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
20. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Acceleration of Stabilization Process for YSZ-based Highly-selective H₂ Sensor Using Zn-Ta-O-based Sensing Electrode, 第 56 回化学センサ研究発表会, 2014.03.31, 関西大学 (大阪府、吹田市)
21. 飯尾 歩美, 池田 弘, 三浦 則雄, ペロブスカイト型酸化物を検知極としたジルコニア酸素センサ, 第 56 回化学センサ研究発表会, 2014.03.31, 関西大学 (大阪府、吹田市)
22. Tomoaki Sato, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Zirconia-based Gas Sensor Using Carbon Sensing-electrode for Sensitive and Selective Detection of NO_x, The 15th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS 2014), 2014.03.17, Buenos Aires (Argentina)
23. 和田 信利, 佐藤 伴光, 池田 弘, 三浦 則雄, ディップコート法による酸化物検知極を用いたジルコニアセンサの炭化水素検知特性, 第 52 回セラミックス基礎科学討論会, 2014.01.09, ウィンクあいち (愛知県、名古屋市)
24. 田中 裕己, 佐藤 伴光, 池田 弘, 三浦 則雄, 酸化物系材料を用いた YSZ センサ用新規個体参照極, 第 39 回固体イオニクス討論会, 2013.11.21, 熊本県民交流会館パレア (熊本県、熊本市)
25. Tomoaki Sato, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Gas Sensing Characteristics of Zirconia-based Sensor Using SnO₂/Au Sensing-electrode, The 10th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS2013), 2013.11.13, Chiang Mai (Thailand)
26. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Aging Phenomena of YSZ-based H₂ Sensor Utilizing Zn-Ta-O Oxide Sensing Electrode, The 10th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS2013), 2013.11.13, Chiang Mai (Thailand)
27. 佐藤 伴光, 池田 弘, 三浦 則雄, 酸化物/YSZ 界面への Au スパッタによるガス検知特性への影響, 第 55 回化学センサ研究発表会, 2013.09.28, 東京工業大学 (東京都、目黒区)
28. Sri Ayu Anggraini, Hiroshi Ikeda, Norio Miura, Aging Impact on H₂

- Sensing Characteristic for Zirconia-based Sensor Using Zn-Ta-O Sensing Electrode, 第 55 回化学センサ研究発表会, 2013.09.28, 東京工業大学 (東京都、目黒区)
29. 佐藤伴光, 三浦 則雄, 緻密な金属酸化物ディスクを検知極としたジルコニアセンサのガス検知特性, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 2013.07.06, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
 30. 田中裕己, Han Jin, 三浦 則雄, ジルコニアセンサの新規固体参照極用酸化物系電極の特性評価, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 2013.07.06, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
 31. Sri Ayu Anggraini, Norio Miura, Influence of Aging Process in Enhancing Sensitivity and Selectivity Toward H₂ for YSZ-based Sensor Using Zn-Ta-O-based Oxide Sensing-electrode, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 2013.07.06, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
 32. 和田信利, 佐藤伴光, 三浦 則雄, ディップコート法で形成した酸化物検知極を用いたジルコニア系炭化水素センサ, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 2013.07.06, 北九州国際会議場 (福岡県、北九州市)
 33. Sri Ayu Anggraini, Michael Breedon, Norio Miura, Effect of Aging on Sensing Performance of YSZ-based H₂ Sensor Using Zn-Ta-based Oxide as Sensing Electrode, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19), 2013.06.04, 国立京都国際会館 (京都府、京都市)
 34. Yuki Fujio, Tomoaki Sato, Norio Miura, Effect of Pd Addition to Rod-shaped TiO₂ Sensing Electrode on Hydrocarbon Sensing Performance of Zirconia-based Gas Sensor, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19), 2013.06.04, 国立京都国際会館 (京都府、京都市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

三浦 則雄 (MIURA Norio)

九州大学・産学連携センター・教授

研究者番号 : 70128099

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

池田 弘 (IKEDA Hiroshi)

九州大学・産学連携センター・助教

研究者番号 : 80621599