

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月10日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350095

研究課題名（和文）高度な固体電気化学式ガスセンサ構築のための反応界面の設計・制御

研究課題名（英文）Design and control of reaction interfaces for construction of high-performance solid-state electrochemical gas sensors

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

研究成果の概要（和文）：

安定化ジルコニアをベース材料とした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構築を、酸化物系やナノ貴金属とのコンポジット系材料を用いた最適な検知極材料の探索、反応界面の微細構造や組成の設計および作動条件の最適化などにより行ない、特異的なガスセンシング機能を付与することができた。

研究成果の概要（英文）：

We have undertaken the construction of high-performance solid-state electrochemical gas sensors for monitoring automobile exhausts as well as air pollutants by using stabilized zirconia as a base sensor material, through searching optimum sensing-electrode using oxide-based materials and composite-based materials including nano-sized noble metals, designing the microscopic structure and chemical composition of the reaction interface, and optimizing their operating conditions. As a result, specific gas-sensing functions were actually realised in the various YSZ-based sensors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2012年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：固体電気化学、ガスセンサ、固体電解質、安定化ジルコニア、自動車排ガス、環境モニタリング、揮発性有機化合物

1. 研究開始当初の背景

昨今の環境問題に対する世界的な意識の高まりの中で、自動車や種々の産業プロセスから排出される窒素酸化物（NO_x）や炭化水素（HCs）などといった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。その

ため、厳しい排ガス規制が世界的に行われており、今後も規制はますます強化されつつある。そのため、車の燃費の向上とともに排ガスを大幅に低減させる必要があり、新型排ガス浄化触媒だけでなく、それらを最適に作動させるために各排ガス成分の濃度を高精

度に監視できるセンサが必要である。また、選択還元反応(SCR)触媒を最適作動させるためには、高選択的 NH_3 センサの開発も重要である。一方、都市部や工場地帯における酸性雨や光化学スモッグといった深刻な環境汚染を防ぐためには、汚染物質の規制強化や浄化技術の発展とともに、大気環境中での揮発性有機化合物(VOC)などの汚染物質の正確なモニタリングも非常に重要である。このような観点から、常用されている大型で高価な分析機器類に代わり、大気環境汚染物質を高感度、高選択的に検出可能な低コストで小型の高性能ガスセンサの開発が切望されている。

車載用排ガスセンサについては、これまでに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、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)固体電解質を素子の主構成材料に用いた固体電気化学式センサについては、最も実用性が高い。

我々はこれまでに、管状または平板状 YSZ を素子の主構成材料に、金属酸化物を検知極材料として用いた多くのガスセンサについて報告している。ただし、同じ検知方式であっても、検知極材料を選ぶことで被検ガス種や検知可能濃度範囲を大幅に変化でき、検知極材料の選択が非常に重要である。また、同じ検知極材料を用いた場合でも、応答特性はその粒径や多孔性などにも大きく依存するし、作動条件によっても変化する。さらに、これらの因子を変化させることは、検知メカニズムの解明にも結びつく。そこで、本研究では、検知極材料の種類や微細構造、反応界面状態あるいは作動条件などの因子を制御することにより、車載用排ガス監視用及び大気・室内環境モニタリング用として、種々のターゲットガスに対して優れた応答特性を示す高度な固体電気化学式ガスセンサの構築を目指した。

2. 研究の目的

自動車や種々の産業プロセスから排出される環境汚染物質を、高感度で高選択的に検出可能な低コストで小型の高性能ガスセンサの開発が切望されている。そのため、本研究では、混成電位を応答信号とする固体電気化学式ガスセンサにおける気相反応界面及び検知極/固体電解質の電気化学反応界面での各活性をバランスよく制御するために、各反応の進行を効果的に促進または抑制しうる最適材料および組成の探索、反応界面の微細構造や微細組成の設計、および作動条件の最適化を行う。その結果として、ターゲットガスに対する感度、選択性、応答速度、安定性といったガスセンサに必須の応答特性を

大幅に改善し、特異的センシング機能を発現させた自動車排ガス監視用及び大気環境モニタリング用の高度なガスセンサの構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、混成電位型ガスセンサにおける反応活性を制御して優れた応答特性を引き出すために、まず、イットリア安定化ジルコニア上に形成する検知極材料の探索とその形成法について検討した。その際、種々の形成技術を用いることにより、反応界面の構造、状態、組成を制御して、最適界面を制御して形成した。得られた検知極の結晶構造、微細構造、組成、物性を観察、分析、評価するとともに、特異的ガスセンシング機能発現のメカニズムを検討した。また、ガスセンサとして作動させた時の自動車排ガスや大気環境汚染ガスに存在する種々のガス成分に対する応答特性を評価した。

具体的には、まずセンサ素子の基本構成材料として、主にイットリア安定化ジルコニア(YSZ)管を用いた。この YSZ 管の外側表面に通常はまず YSZ ペーストを塗布、乾燥して YSZ 層を形成した。次に、種々の酸化物粉末を用いて調製した酸化物ペーストを、YSZ 層上に検知極(SE)層として塗布した。積層型検知極の場合は、YSZ 層上に検知極層を形成後、中間層、触媒層の順に積層した。また、参照極(RE)用の Pt ペーストを YSZ 管の内側先端に塗布し、乾燥後、 1000°C で 2 時間焼成することにより SE 及び RE を形成し、センサ素子とした。

素子を石英セル中にセットした後、センサ応答特性評価装置に入れ、主に $400\sim 800^\circ\text{C}$ の作動温度において、種々のガス(CO , H_2 , CH_4 , C_3H_6 , C_3H_8 , NO , NO_2 , NH_3)を流通させた。この時の SE と RE 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。すべての応答特性測定は、ガス流速を $100\text{ cm}^3/\text{min}$ 、加湿雰囲気下(主に $5\text{ vol.}\% \text{ H}_2\text{O}$)において行った。素子の分極曲線測定や複素インピーダンス測定も種々のガス流通下において行った。また、センサ素子と触媒セルを組み合わせたセンシングシステムにより、最適な触媒層の材料について検討した。さらに、検知極層について、SEM 観察、EDX 分析、XRD 測定などによる物性評価も行った。

4. 研究成果

以下では、各年度ごとの主な研究成果をまとめて示した。

(平成 22 年度)

(1) 種々の粒子径のナノ Au 粒子を検知極に用いた混成電位型ジルコニアセンサが、Au 粒子径や検知極材料のモルフォロジーの違い

によって、応答特性が大きく変化することを見出した。また、Au ナノ粒子を 1 wt% 添加した ZnCr_2O_4 を検知極 ($\text{ZnCr}_2\text{O}_4(+\text{Au})\text{-SE}$) に用いた素子では、CO 及び炭化水素に対して高い感度を示した。そこで、本素子と炭化水素に対してのみ選択的な応答を示すことがわかっている $\text{ZnCr}_2\text{O}_4\text{-SE}$ を組み合わせた素子を作製して両極間の電位差を測定することで、プロパンに対する感度を相殺して CO に対して高感度かつ選択的な応答が得られることがわかった。

(2)酸化ニッケル検知極を用いた混成電位型ジルコニアセンサでは、他ガスの共存による影響をあまり受けずに、水蒸気存在下においても 50 ppb という極低濃度のトルエンに対して、比較的良好な感度と選択性を示すことを見出した。また、本素子はトルエン以外の *m*-キシレンやベンゼンなどの他の VOC に対しても比較的高い感度を示した。本素子は市販の全炭化水素分析計と比較しても良好な VOC 検知特性を示すことが分かった。また、さらなる低濃度 VOC の検知を目指して、検出原理を考慮して酸化ニッケル膜厚を変化させた時のガス検知特性への影響を評価したところ、膜厚を減少させることで、選択性はほとんど低下させずにトルエン感度を向上させることができた。

(平成 23 年度)

(1) 種々の単独酸化物を検知極に用いた混成電位型ジルコニアセンサのガス応答特性について検討したところ、酸化スズを検知極に用いた素子を 600°C で作動させた場合に、水素およびプロペンに対して高い感度を示すことがわかった。そこで、本素子と炭化水素に対してのみ選択的な応答を示すチタン酸ニッケル検知極とを組み合わせた素子を作製して両極間の電位差を測定することで、プロペンに対する電位応答を相殺して、水素を高感度かつ高選択的に検知できることがわかった。

(2)新規に提案したマンガン系酸化物を固体参照極に用いたセンサ素子のガス応答特性について検討した。その結果、酸化インジウムを検知極に用いた電流検出式センサは、550°C において二酸化窒素を高感度かつ選択的に検知でき、亜クロム酸ニッケルを 30 wt.% 添加した酸化クロムを検知極に用いた電位検出式センサでは、同作動条件下で炭化水素を選択的に検知できることがわかった。

(3)酸化ニッケルを検知極に用いた混成電位型センサは、作動温度 450°C において 50 ppb の極低濃度のトルエンを比較的高感度に検知できることをこれまでに見出していたが、本素子はエタノールガスによる干渉を大きく受けることがわかった。そこで、エタノールガスの干渉を除去するために、酸化スズ粉末を充填した酸化セルをセンサ素子の上流

に設置することで、トルエン感度を大きく低下させずに、エタノール感度を大幅に低減できることを見出した。

(平成 24 年度)

(1)YSZ センサの検知極層上に触媒層を積層した素子による水素選択性の改善を行った。触媒層にプロペン酸化能を有する酸化クロムを、また検知極層に酸化スズを用いた積層型素子を作製した。この際、酸化クロムの検知極層への侵入を防ぐために、触媒層と検知極層の間にアルミナ中間層を導入した。この素子の種々のガスに対する応答特性の評価を行ったところ、プロペン感度が大幅に減少し、水素に対して良好なガス選択性が得られることがわかった。

(2)新規に開発した Mn 系参照極の作動機構について検討を行った。Mn 固溶 YSZ の電気伝導に対する活性化エネルギーは、Mn 系参照極が酸素に対して不活性となる約 575°C を境に変化することを見出した。これより、酸化マンガンを塗布した YSZ を高温焼成することで Mn イオンが YSZ へ固溶し、格子定数、モルフォロジ、電子状態、電気伝導性に影響を及ぼしたと考えられる。そのため、約 575°C 以下の作動温度では、YSZ 中で Mn イオンの存在により隣接する酸素空孔が固定化され、酸素イオン活量が一定となるために、Mn 系参照極は酸素および種々の排ガス成分に対して不活性であると考察した。

(3)YSZ センサの最適な検知極材料として、酸化亜鉛へ酸化タンタルを 84wt% 添加した場合に水素に対して最も高い感度が得られることがわかった。この素子を 550°C で 40 日間保持すると水素感度が大幅に増加し、他ガスに対する感度は低下したため、非常に高い水素感度と選択性が得られた。感度は 10-80 ppm の水素濃度範囲では直線関係が見られたが、100-400 ppm では濃度の対数に対して感度が直線性を示した。

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 27 件)

1. S. A. Anggraini, M. Breedon, N. Miura, Sensing Characteristics of Aged Zirconia-based Hydrogen Sensor Utilizing Zn-Ta-based Oxide Sensing-electrode, Electrochemistry Communications, 査読あり, 31, 2013, 133-136

(doi:10.1016/j.elecom.2013.03.028)

2. M. Breedon, N. Miura, Augmenting H_2 Sensing Performance of YSZ-based Electrochemical Gas Sensors via the Application of Au Mesh and YSZ Coating, Sensors and Actuators B, 査読あり, 182, 2013, 40-44

- (doi:10.1016/j.snb.2013.02.108)
3. M. Yamaguchi, S. A. Anggraini, Y. Fujio, T. Sato, M. Breedon, N. Miura, Stabilized Zirconia-based Sensor Utilizing SnO₂-based Sensing Electrode with an Integrated Cr₂O₃ Catalyst Layer for Sensitive and Selective Detection of Hydrogen, *International Journal of Hydrogen Energy*, 査読あり, 38, 2013, 305-312
(doi:10.1016/j.ijhydene.2011.08.108)
4. H. Jin, M. Breedon, Y. Tanaka, N. Miura, Fe-based Solid Reference Electrode Utilized in YSZ-based Oxygen Sensor, *ECS Electrochemistry Letters*, 査読あり, 2(1), 2013, B1-B3
(doi:10.1149/2.003301eel)
5. S. A. Anggraini, M. Breedon, N. Miura, Potentiometric YSZ-based Sensors Using Zn-Ta-O-based Sensing Electrode for Selective H₂ Detection, *ECS Transactions*, 査読あり, 50(12), 2012, 179-187
(doi:10.1149/05012.0179ecst)
6. S. A. Anggraini, M. Breedon, N. Miura, Zn-Ta-based oxide as a hydrogen sensitive electrode material for zirconia-based electrochemical gas sensors, *Sensors and Actuators B*, 査読あり, in press, 2013, (doi:10.1016/j.snb.2012.09.038)
7. T. Sato, M. Breedon, N. Miura, Selectivity Enhancement of YSZ-based VOC Sensor Utilizing SnO₂/NiO-SE via the Application of a Physical Gas-diffusion Barrier, *ECS Transactions*, 査読あり, 50(12), 2012, 129-137
(doi:10.1149/05012.0129ecst)
8. Y. Suetsugu, T. Sato, M. Breedon, N. Miura, C₃H₆ Sensing Characteristics of Rod-type Yttria-stabilized Zirconia-based Sensor for ppb Level Environmental Monitoring Applications, *Electrochimica Acta*, 査読あり, 73, 2012, 118-122
(doi:10.1016/j.electacta.2011.08.108)
9. M. Breedon, N. Miura, Enhanced Response of High Temperature H₂ Sensors via the Application of Micro-dimensional Gold Mesh, *Proceedings of IMCS14*, 査読なし, 巻号なし, 2012, 1159-1162
(doi:10.5162/IMCS2012/P1.9.3)
10. T. Sato, M. Breedon, N. Miura, Gas Selectivity Improvement of YSZ-based VOC Sensor via Application of Selective Catalytic Layer over Sensing-electrode, *Proceedings of IMCS14*, 査読なし, 巻号なし, 2012, 566-568
(doi:10.5162/IMCS2012/6.5.2)
11. S. A. Anggraini, M. Breedon, N. Miura, Sensitive and Selective Detection of Hydrogen Using YSZ-based Sensor with Zn-Ta-based Oxide Sensing-electrode, *Proceedings of the 14th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS14)*, 査読なし, 巻号なし, 2012, 563-565
(doi:10.5162/IMCS2012/6.5.1)
12. H. Jin, M. Breedon, V. V. Plashnitsa, N. Miura, Working Mechanism of Novel Mn-based Reference Electrode for Solid-state Electrochemical Gas Sensors, *Journal of The Electrochemical Society*, 査読あり, 159(10), 2012, B801-B810
(doi:10.1149/2.035210jes)
13. M. Yamaguchi, S. A. Anggraini, Y. Fujio, M. Breedon, V. V. Plashnitsa, N. Miura, Selective Hydrogen Detection at High Temperature by Using Yttria-stabilized Zirconia-based Sensor with Coupled Metal-oxide-based Sensing Electrodes, *Electrochimica Acta*, 査読あり, 76, 2012, 152-158
(doi:10.1016/j.electacta.2012.04.126)
14. M. Breedon, S. Zhuiykov, N. Miura, The Synthesis and Gas Sensitivity of CuO Micro-dimensional Structures Featuring a Stepped Morphology, *Materials Letters*, 査読あり, 82, 2012, 51-53
(doi:10.1016/j.matlet.2012.05.024)
15. T. Sato, M. Breedon, N. Miura, Improvement of Toluene Selectivity Via the Application of an Ethanol Oxidizing Catalytic Cell Upstream of a YSZ-based Sensor for Air Monitoring Applications, *Sensors*, 査読あり, 12(4), 2012, 4706-4714
(doi:10.3390/s120404706)
16. Y. Fujio, V. V. Plashnitsa, M. Breedon, N. Miura, Construction of Sensitive and Selective Zirconia-based CO Sensors Using ZnCr₂O₄-based Sensing Electrodes, *Langmuir*, 査読あり, 28, 2012, 1638-1645
(doi:10.1021/la203935w)
17. H. Jin, M. Breedon, N. Miura, Sensing Behavior of YSZ-based Amperometric NO₂ Sensors Consisting of Mn-based Reference-electrode and In₂O₃ Sensing-electrode, *Talanta*, 査読あり, 88, 2012, 318-323
(doi:10.1016/j.talanta.2011.10.047)
18. D. Teraoka, M. Breedon, N. Miura, Fabrication and Evaluation of Room-temperature Type Solid-state Electrochemical Gas Sensor Utilizing Proton-conducting Membrane, *Proceedings of CSS13*, 査読なし, 巻号なし, 2011, 143-144
19. S. A. Anggraini, M. Breedon, N. Miura,

Sensing Performance of YSZ-based Mixed-potential-type Gas Sensors Utilizing Zn-Ta-based Oxide Sensing Electrodes, Proceedings of the 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy, and Environmental Sciences (CSS13), 査読なし, 巻号なし, 2011, 39-40

20. S. A. Anggraini, V. V. Plashnitsa, P. Elumalai, M. Breedon, N. Miura, Stabilized Zirconia-based Planar Sensor Using Coupled Oxide (+Au) Electrodes for Highly Selective CO Detection, Sensors and Actuators B, 査読あり, 160, 2011, 1273-1281
(doi: 10.1016/j.snb.2011.09.062)

21. Y. Fujio, V. V. Plashnitsa, P. Elumalai, N. Miura, Stabilization of Sensing Performance for Mixed-potential-type Zirconia-based Hydrocarbon Sensor, Talanta, 査読あり, 85(1), 2011, 575-581
(doi:10.1016/j.talanta.2011.04.024)

22. V. V. Plashnitsa, P. Elumalai, Y. Fujio, T. Kawaguchi, N. Miura, Spontaneous Gradual Accumulation of Hexagonally-aligned Nano-silica on Gold Nanoparticles Embedded in Stabilized Zirconia: A Pathway from Catalytic to NH₃-sensing Performance, Nanoscale, 査読あり, 3, 2011, 2286-2293
(doi:10.1039/c1nr10091b)

23. V. V. Plashnitsa, S. A. Anggraini, N. Miura, CO Sensing Characteristics of YSZ-based Planar Sensor Using Rh-sensing Electrode Composed of Tetrahedral Sub-micron Particles, Electrochemistry Communications, 査読あり, 13, 2011, 444-446
(doi:10.1016/j.elecom.2011.02.016)

24. H. Jin, V. V. Plashnitsa, M. Breedon, N. Miura, Compact YSZ-rod-based Hydrocarbon Sensor Utilizing Metal-oxide Sensing-electrode and Mn-based Reference-electrode Combination, Electrochemical and Solid-State Letters, 査読あり, 14(6), 2011, J23-J25
(doi:10.1149/1.3568883)

25. T. Sato, V. V. Plashnitsa, M. Utiyama, N. Miura, YSZ-based Sensor Using NiO Sensing Electrode for Detection of Volatile Organic Compounds in ppb Level, Journal of The Electrochemical Society, 査読あり, 158(6), 2011, J175-J178
(doi:10.1149/1.3573780)

26. N. Miura, H. Jin, R. Wama, S. Nakakubo, P. Elumalai, V. V. Plashnitsa, Novel Solid-State Manganese Oxide-Based Reference Electrode for YSZ-Based Oxygen

Sensors, Sensors and Actuators B, 査読あり, 152(2), 2011, 261-266
(doi:10.1016/j.snb.2010.12.018)

27. H. Jin, R. Wama, V. V. Plashnitsa, N. Miura, Mn-Based Solid-State Reference-Electrode Utilized for Miniaturized YSZ-Based Gas Sensor, Proceedings of the 12th Cross Straits Symposium on Materials, Energy, and Environmental Sciences, 査読なし, 巻号なし, 2010, 90-91

[学会発表] (計 28 件)

1. Sri Ayu Anggraini、Effect of Aging Process on Sensing Characteristics of YSZ-based Sensor Using Zn-Ta-based Oxide as Sensing Electrode for Selective H₂ Detection、第 54 回化学センサ研究発表会、2013 年 3 月 29 日、東北大学 (宮城)
2. Sri Ayu Anggraini、Zn-Ta-based oxides as sensing electrode material for YSZ-based potentiometric gas sensor aiming at sensitive and selective detection of H₂、第 38 回固体イオニクス討論会、2012 年 12 月 4 日、京都テルサ (京都)
3. Daichi Teraoka, Room-temperature Type Compact Solid-state Electrochemical Hydrogen Sensor, 9th-NCRS, 2012 年 11 月 2 日, Fukuoka Japan
4. Tomoaki Sato, Simulation of Toluene Sensitivity for YSZ-based Sensor Utilizing NiO Sensing-electrode, 9th-NCRS, 2012 年 11 月 2 日, Fukuoka Japan
5. Michael Breedon, The Adsorption of NO₂ Onto YSZ Surfaces, The 9th International Symposium on "Novel Carbon Resource Sciences" (9th-NCRS), 2012 年 11 月 2 日, Fukuoka Japan
6. Sri Ayu Anggraini, Potentiometric YSZ-based Sensors Using Zn-Ta-O-based Sensing Electrode for Selective H₂ Detection, PRiME2012, 2012 年 10 月 9 日, Hawaii USA
7. Tomoaki Sato, Selectivity Enhancement of YSZ-based VOC Sensor Utilizing SnO₂/NiO-SE via the Application of a Physical Gas-diffusion Barrier, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science (PRiME2012), 2012 年 10 月 9 日, Hawaii USA
8. Tomoaki Sato, Gas Selectivity Improvement of YSZ-based VOC Sensor via Application of Selective Catalytic Layer over Sensing-electrode, IMCS14, 2012 年 5 月 21 日, Nuremberg Germany
9. Sri Ayu Anggraini, Sensitive and Selective Detection of Hydrogen Using

YSZ-based Sensor with Zn-Ta-based Oxide Sensing-electrode, IMCS14, 2012年5月21日, Nuremberg Germany

10. Michael Breedon, Enhanced Response of High Temperature H₂ Sensors via the Application of Micro-dimensional Gold Mesh, The 14th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS14), 2012年5月21日, Nuremberg Germany

11. Han Jin, YSZ-based Potentiometric /Amperometric Gas Sensor Utilizing a Mn-based Solid-state Reference-electrode, ACCS2011, 2011年11月16日, Taipei Taiwan

12. Daichi Teraoka, Room-temperature Type Solid-state Electrochemical Gas Sensor Using Proton-conductor, ACCS2011, 2011年11月16日, Taipei Taiwan

13. Yuki Fujio, Effect of Gold Particle on Sensing Performance of Zirconia-based CO Sensor, 9th Asian Conference on Chemical Sensors(ACCS2011), 2011年11月16日, Taipei Taiwan

14. Tomoaki Sato, Solid-state Electrochemical Gas Sensor for Selective Detection of Aromatic Hydrocarbons at ppb Levels, 62nd-ISE, 2011年9月12日, Niigata Japan

15. Mami Yamaguchi, Mixed-potential-type YSZ-based Gas Sensor Aiming at Selective Detection of Hydrogen, 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry(62nd-ISE), 2011年9月12日, Niigata Japan

16. Norio Miura, Development of Mixed-potential-type YSZ-based Gas Sensors, 18th International Conference on Solid State Ionics, 2011年7月3日, Warsaw Poland

17. Daichi Teraoka, Room-temperature Type Solid-state Electrochemical Gas Sensor Using Proton-conductor, 7th-NCRS, 2011年6月23日, Seoul Korea

18. Tomoaki Sato, Sensing Characteristics of Rod-type Compact YSZ-based Sensor for Detection of Propylene in ppb Level, The 7th International Symposium on "Novel Carbon Resource Sciences" (7th-NCRS), 2011年6月23日, Seoul Korea

19. Tomoaki Sato, YSZ-based Sensors Using Oxide Sensing Electrodes for Detection of Hydrocarbons in ppb Level, 9th-ISE, 2011年5月8日, Turku Finland

20. Han Jin, Potentiometric/Amperometric Rod-type YSZ-based Gas Sensor Attached with Mn-based Reference-electrode, The 9th Spring Meeting of the International Society of Electrochemistry (9th-ISE),

2011年5月8日, Turku Finland

21. Yuki Fujio, Development of High-performance Solid-state Electrochemical Gas Sensors with Multiple Applications in the Proposed Hydrogen Economy, International HYDROGENIUS and I²CNER Joint Symposium, 2011年2月3日, Fukuoka Japan

22. Han Jin, Mn-Based Solid-State Reference-Electrode Utilized for Miniaturized YSZ-Based Gas Sensor, The 12th Cross Straits Symposium on Materials, Energy, and Environmental Sciences, 2010年11月17日, Pohang Korea

23. Tomoaki Sato, Zirconia-based Mixed-potential Type Sensor Aiming at Detection of Very Low Concentrations of VOCs in Air Environment, IMCS13, 2010年7月12日, Perth Australia

24. Norio Miura, The Attractiveness of Solid-State Electrochemical Gas Sensors, IMCS13, 2010年7月12日, Perth Australia

25. Vladimir V. Plashnitsa, Stabilization of Gas Response of Zirconia-based Sensor Using Composite Sensing Electrodes, IMCS13, 2010年7月12日, Perth Australia

26. Yuki Fujio, CO Sensing Characteristics of Zirconia-based Sensor attached with ZnCr₂O₄ (+ noble metal) Sensing-electrode, The 13th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS13), 2010年7月12日, Perth Australia

27. Sri Ayu Anggraini, Mixed-potential -type Planar YSZ-based Carbon Monoxide Sensor Using a Couple of Oxide(+Au) Electrodes, ACEC2010, 2010年5月20日, Kumamoto Japan

28. Vladimir V. Plashnitsa, Mechano-chemical Approach for Fabrication of Nano-structured NiO Sensing Electrode Used in Zirconia Based NO₂ Sensor, 7th Asian Conference on Electrochemistry (ACEC2010), 2010年5月20日, Kumamoto Japan

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

なし