表面修飾剤による酸化インジウム系素子のCO検知特性の改善

非会員 山浦弘之 (九州大学)

非会員 玉置 純 (立命館大学)

非会員 守家浩二 (大阪ガス)

正 員 三浦則雄 (九州大学)

正 員 山添 昇 (九州大学)

Improvement of In₂O₃-Based CO Sensor by Using Surface Modifiers

Hiroyuki Yamaura, Non-member (Kyushu University), Jun Tamaki, Non-member (Ritsumeikan University),
Kouji Moriya, Non-Member (Osaka Gas Co. Ltd.), Norio Miura, Member (Kyushu University),
Noboru Yamazoe, Member (Kyushu University).

Aiming at developing a semiconductor CO sensor applicable to the safety control of gas appliances, we carried out an extensive material search for promoters to In₂O₃-based elements. Among the elements added (0.5 wt%) with each of 12 transition metal oxides, the Co₃O₄-added one was outstanding in sensitivity and selectivity to CO at 200 °C. Remarkably the sensing properties of this element could be improved further by the addition of Au (0.04 wt%). The doubly promoted element, Au(0.04 wt%)-Co(0.5 wt%)-In₂O₃, gave excellent characteristics in sensitivity to CO, selectivity to CO over H₂ and other selected gases, and response rates at 250 °C. The promoting effects of the additives were shown to originate from the proper enhancement of catalytic activity for CO oxidation.

キーワード : 半導体ガスセンサ、CO センサ、不完全燃焼、表面修飾、酸化インジウム、金

1. 緒言

燃料ガスの不完全燃焼によって燃焼機器から排出されるCOは毒性が強いため、室内環境中におけるその濃度が高くなれば重大なCO中毒事故を引き起こす可能性がある。そのため、燃焼排ガス中におけるCO濃度をモニタリングして、機器の燃焼状態を監視するとともに、フィードバック制御を行うことができる小型で安価な全固体型COセンサの開発が望まれている。これまでに、酸化物半導体ガスセンサについては、実用可燃性ガス警報器に用いられているSnO₂系材料のCO検知特性が報告¹⁻⁴⁾されているし、SnO₂系以外のいくつかの酸化物系材料でもCOを比較的选择的に検知できるものが報告⁵⁻⁷⁾されている。しかしながら、実際の燃焼排ガス中での作動を考えた場合には、約200～400 °Cの温度域、H₂、炭化水素、NO_xなどの多種類の共存ガスの共存下、しかも水蒸気やO₂濃度が大幅に変動するという非常に厳しい条件下においても、良好なCO検知特性を示す必要がある。ただし、これまでに報告された半導体センサ材料において、このような過酷な排ガス条件下でも十分な性能を示すものが見出されているとはいえない。

そこで我々は、実燃焼排ガス用高性能COセンサの開発を目指して、センサ材料の系統的な探索から出発した。まず、種々の単独酸化物について水蒸気存在下でも良好なCO感度を示すセンサ材料を探索した結果、In₂O₃が比較的優れた特性を示すことを見出した⁸⁾。しかし、In₂O₃単独の場合には、燃焼排ガス中においてCOと同程度の濃度で共存するH₂に対する感度も同様に高いため、CO選択性に欠けることがわかった。そこで、In₂O₃への添加剤について検討した結果、Rb等のアルカリ金属(素子中では炭酸塩として存在)を用いた場合に、CO選択性が大幅に改善されることを見出している⁸⁻⁹⁾。また、このIn₂O₃系素子の検知機構に関する知見を得るために、種々のIn₂O₃系試料の酸化活性を調べたところ、適度なCO酸化活性を有する材料が高いCO感度を示すことを見出している。そのため、検知材料の酸化活性を適度に変化させることで、CO検知特性のさらなる改善が期待される。

本研究では、Rb等のアルカリ金属系添加物よりも化学的安定性に優れ、しかもCO酸化活性の比較的高い遷移金属酸化物をIn₂O₃への添加剤として用いた。さらに、それらのCO酸化活性を適度に変化させるために、添加量や

作動温度についても、アルカリ金属添加の場合よりも大きく変化させて検知特性の測定を行った。その結果、特に酸化コバルトを 0.5 wt% 添加した In_2O_3 系素子が、250 °C 付近で優れた CO 検知特性を示すことを見出した¹⁰⁾。さらに、この新規材料に Au を添加すればより検知特性の改善が可能なることを見出している。以下では、これら新たに見出した材料を用いたセンサ素子の詳しい検知特性や検知機構についての検討結果について述べる。

2. 実験方法

<2.1> センサ材料の調製 ベース材料である In_2O_3 は、塩化物を出発原料として湿式法により調製した。まず、塩化インジウム水溶液に 28% NH_3 水を加え、生じた沈殿を濾過、洗浄、乾燥後、空气中、850 °C で 5 時間焼成して In_2O_3 を得た。その後、ボールミルによる粉碎を 24 時間行い、微粉化したものを試料粉末とした。また第 2 成分として、種々の遷移金属酸化物を主に酢酸塩を用いた含浸法により、酸化物換算で 0.5 wt% ほど In_2O_3 に添加した。この場合、添加する各種金属塩の水溶液に In_2O_3 粉末を懸濁させ、攪拌しながら蒸発乾固することにより含浸させ、その後、空气中、600 °C で 5 時間焼成することにより第 2 成分を担持した。さらに、第 3 成分として貴金属を担持する場合には、種々の貴金属コロイド水溶液 (Ru、Rh、Pd、Ag、Pt、Au、戸田工業 (株) より提供) を水で希釈して所定濃度にしたものに、 In_2O_3 粉末を懸濁させた後、室温で約 3 時間攪拌して In_2O_3 粉末表面に吸着担持させた。その後、懸濁液を濾過、洗浄、乾燥し、空气中、600 °C で 5 時間焼成した。

<2.2> センサ素子の作製および特性評価法 調製した各粉末試料を水でペースト状にし、アルミナ管 (外径 1.2 mm × 長さ 6 mm) に電極として 2 本の白金線を巻き付けたものに塗布した後、空气中、700 °C で 3 時間焼結することにより通常の焼結体型センサ素子を作製した。得られた素子の電極間の電気抵抗を、湿潤空気 (水蒸気 1.5 vol.% 含有) 流通下、および CO (1000 ppm) あるいは H_2 (1000 ppm) を含む湿潤空気流通下において測定した。ガス流速は 200 cm^3/min 、測定温度は 200–600 °C とした。ガス感度 (S) は、湿潤空気中での素子抵抗 (R_a) と被検ガス中での素子抵抗 (R_g) との比 (R_a/R_g) で表した。

<2.3> 検知材料の酸化活性測定 In_2O_3 系試料の酸化活性の測定は、通常の固定床流通式反応装置を用いて、室温から 700 °C の温度範囲で行った。反応ガスとしては、2000 ppm CO あるいは 2000 ppm H_2 (空気バランス) を含む湿潤空気 (水蒸気 1.5 vol.% 含有) を用い、 $\text{SV} = 12000 \text{ cm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cat}$ で流通させた。出口ガスの分析は、ガスクロマトグラフ (GC-8A、島津製作所製) を用いて行った。

3. 結果と考察

<3.1> 遷移金属酸化物を添加した In_2O_3 素子の CO 検知特性 まず、12 種類の遷移金属酸化物を 0.5 wt% 添加した各 In_2O_3 系素子について、200 °C における湿潤空気中の 1000 ppm CO に対する感度 (SCO)、および CO 感度の H_2 感度 (SH_2) に対する比 (SCO/SH_2) で表した CO 選択性を調べた。その結果、図 1 に示すように In_2O_3 単独素子の場合には CO に対する感度および選択性の値はそれぞれ 10 および 4 と低かったが、遷移金属酸化物を添加した素子では Co_3O_4 、 NiO 、 CuO 、 ZnO 、 Y_2O_3 の場合に、CO に対してかなり高い感度と選択性を示すことがわかった。特に、 Co_3O_4 を 0.5 wt% 添加した素子 (以下 $\text{Co}(0.5 \text{ wt}\%)-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子と表す) では、CO 感度および CO/ H_2 感度比がそれぞれ 128 および 35 と最も高い値を示した。これら以外の TiO_2 、 V_2O_5 等の酸化物を添加した場合には、逆に CO 感度及び選択性が In_2O_3 単独の場合よりも低下した。ここで比較のために、以前報告した 300 °C における In_2O_3 単独素子、 $\text{Co}(5 \text{ wt}\%)-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子、および $\text{Rb}(5 \text{ wt}\%)-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子の特性も図 1 に同時に示した。これより、以前に最も良好な特性を示した $\text{Rb}(5 \text{ wt}\%)-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子と比べても、今回の $\text{Co}(0.5 \text{ wt}\%)-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子は特性が改善されていることがわかる。一方、同じ $\text{Co}-\text{In}_2\text{O}_3$ 素子でも添加量を 5 wt% と多くし、作動温度を 300 °C に上げれば、CO 検知特性は大きく低下している。このことは、以前の条件では Co_3O_4 の酸化活性が高すぎて、被検ガス中の CO が

図 1 各種金属酸化物添加 In_2O_3 素子の湿潤空気中での 1000 ppm CO に対する感度および CO 選択性

Fig. 1. CO sensing properties of metal oxide-added In_2O_3 elements. (a) Sensitivity to 1000 ppm CO in wet air (SCO), (b) Sensitivity ratio (SCO/SH₂).

図2 各温度におけるCo(0.5 wt%)-In₂O₃素子の湿潤空気中での1000ppmCOおよびH₂に対する応答曲線

Fig. 2. Response transients of Co(0.5 wt%)-In₂O₃ element to 1000 ppm CO or (H₂) in wet air at various temperatures.

素子全体に拡散する前に酸化消費されてしまうため、良好な検知特性が得られなかったものと考えられる。一方、ここでは添加量および作動温度を制御してCO酸化活性を適度に弱めたために、検知特性が大幅に改善されたと考えられる。

このCo-In₂O₃素子は、Rb-In₂O₃素子よりもCO検知特性に優れているだけでなく、化学的安定性にも優れていると思われる。すなわち、Rb-In₂O₃系においてはセンサ作動時にはRbは酸化物ではなく炭酸塩の形でIn₂O₃粒子表面上に存在していることを以前報告¹⁰⁾したが、この炭酸塩は室温付近での吸湿性が比較的に強いために、センサ素子を室温で保存する場合の安定性にやや難点があると思われる。これに対して、Co-In₂O₃素子ではCoは安定な酸化物(焼成時の条件からするとCo₃O₄)の形で存在するため、上記のような問題点はない。このCo(0.5 wt%)-In₂O₃素子の200～400 °Cにおける1000 ppm COおよび1000 ppm H₂に対する応答曲線を図2に示した。感度の値もこの図に示しているが、COの場合には200 °Cで最も高く、温度上昇とともに大きく低下した。一方、H₂感度は250 °C付近で最大感度を示したが、その値は7と低かった。応答・回復特性に関しては、200 °Cにおける応答は遅く、空気に戻しても完全には元の抵抗値まで回復しなかった。温度をあげると応答・回復速度は向上し、250 °Cでの90%応答時間(T_{90%})は約3分、90%回復時間も約2分と比較的良好であった。したがって、CO感度および応答速度の結

図3 各種貴金属添加(0.4 wt%)In₂O₃素子の湿潤空気中での1000ppmCOに対する感度およびCO選択性

Fig. 3. CO sensing properties of various noble metal (0.4 wt%)-loaded In₂O₃ elements.

(a) Sensitivity to 1000 ppm CO in wet air (SCO),
(b) Sensitivity ratio (SCO / SH₂).

図4 Au-Co(0.5 wt%)-In₂O₃素子のCO選択性および90%応答時間の添加量依存性(250 °C)

Fig. 4. Effects of Au-loadings on CO selectivity and 90% response time of Au-Co(0.5 wt%)-In₂O₃ elements at 250 °C.

果から考えると、本素子の最適作動温度は250 °C付近であると思われる。

<3.2> CO検知特性に対する貴金属の添加効果 図2に示した250 °CでのCo-In₂O₃素子の応答・回復特性、特に応答速度についてはまだ十分であるとは言えない。そこで、本素子の応答速度を改善する目的で、これまでに増感剤としてよく用いられてきた貴金属だけをIn₂O₃に担持した試料について、CO検知特性を調べた。図3には、6種類の貴金属を0.4 wt%添加した各In₂O₃素子について、250 °Cにおける1000 ppmCOに対する感度と選択性を示した。Ru、Rh添加素子の場合には、素子抵抗が1桁以

図5 Co-In₂O₃ 素子および Au-Co-In₂O₃ 素子の湿潤空気中の 1000ppmCO および H₂ に対する応答曲線 (250 °C)

Fig. 5. Response transients to 1000 ppm CO (or H₂) in wet air at 250 °C for Co-In₂O₃ and Au-Co-In₂O₃ elements.

上増加し、CO 検知特性の改善はほとんど見られていない。Pd、Ag、Pt 添加の場合には CO 感度は大きく増加するが、それ以上に H₂ 感度も増加するために、CO 選択性は In₂O₃ 単独の場合より低下した。これに対して、Au の添加素子では CO 感度が大幅に向上するとともに、CO 選択性も改善されることがわかった。また、この場合の応答・回復速度は In₂O₃ 素子よりも増加していることがわかった。このように Au の添加は、上述の CO に対する感度、選択性を向上させるとともに、応答・回復速度も改善する効果があることから、Co-In₂O₃ 素子に第 3 成分としてさらに Au を添加することを試みた。まず、Au の添加量を 0.004 ~ 0.1 wt% と変化させたときの CO 検知特性を 250 °C において測定したところ、CO 選択性および 90% 応答時間は、Au 添加量に対して図 4 のような相関を示した。これより、CO 選択性は 0.01 wt% 添加の時に極大値を示すが、90% 応答時間については添加量が 0.04 % まで大幅な改善が見られた。したがって、CO 選択性、応答速度の両面から考えると、Au の最適添加量は 0.04 wt% 付近であると考えられる。

図 5 には、Co-In₂O₃ 素子とこれに Au をさらに 0.04 wt% 添加した素子について、250 °C における 1000 ppm CO および 1000 ppm H₂ に対する応答曲線を比較して示した。これより、第 3 成分として金を添加することにより、90% 応答時間は添加する前の約 3 分から 30 秒程度に大幅に改善されることがわかる。さらに、250 °C での CO 感度は 53 から 160 へと大きく増加しているが、もともと小さな H₂ 感度はあまり変化しないため、CO 選択性の改善効果も大きいことがわかった。図 6 には、上記の 2 素子についての 250 °C での CO および H₂ に対する感度の濃度依存性を示し

図6 Co-In₂O₃ 素子および Au-Co-In₂O₃ 素子の CO および H₂ に対する感度の濃度依存性 (250 °C)

Fig. 6. Calibration curves of Co(0.5 wt%)-In₂O₃ and Au(0.04 wt%)-Co(0.5 wt%)-In₂O₃ elements for CO and H₂ in wet air at 250 °C.

図7 Au(0.04 wt%)-Co(0.5 wt%)-In₂O₃ 素子の湿潤空気中の 種々のガスに対する感度 (250 °C)

Fig. 7. Sensitivity to various gases in wet air at 250 °C for Au(0.04 wt%)-Co(0.5 wt%)-In₂O₃ element.

た。CO についての相関は両素子とも良好な直線性を示しているとはいえないが、Au 添加素子の方がより高い感度を示し、しかも H₂ の妨害も小さいことから、より精度の高い CO 検知が可能と思われる。そこで図 7 には、Au-Co-In₂O₃ 素子について燃焼排ガス中に共存する種々のガスに対する感度を、250 °C の湿潤空気中において調べた結果を示した。50 ppm NO に対する応答が CO 感度の約 1/10 程度と多少大きい以外は、1000 ppm H₂、3 vol.% CO₂、1000 ppm CH₄、500 ppm C₃H₈ の各ガスに対する感度はいずれも CO 感度の約 1/50 以下と非常に小さいことから、本素子の H₂ 以外のガスに対する選択性も比較的良好であるといえる。以上の結果を考えあわせると、この Au-Co-In₂O₃ 素子は燃焼排ガス用 CO センサとしてかなり有望であると思われる。ただし、実用化にあたっては、長期安

定性や実際の排ガス中での応答特性の検討などを、今後さらに進める必要がある。

<3.3> CO 酸化活性とCO 検知特性との相関 Co-In₂O₃系素子の優れたCO 検知特性発現についての知見を得るために、センサ材料として用いたIn₂O₃系試料の酸化活性の測定を行った。図8には、各試料についてのCOおよびH₂の酸化反応に対する転化率の温度依存性を示した。In₂O₃単独試料では、250℃付近からCOの酸化反応が起これ、温度の上昇とともに転化率は高くなって、約550℃で100%に達した。一方、In₂O₃に5 wt%Co₃O₄を添加した試料では、CO酸化反応の開始温度、および転化率が100%に達する温度は大きく低下し、酸化活性は大幅に増加していることがわかる。Co₃O₄の添加量を0.5%に減少させた場合には、CO酸化活性はIn₂O₃単独試料と5 wt%添加試料の中間値を示しており、活性は5 wt%添加試料より弱められていることがわかる。さらに、これにAuを添加した場合には、5 wt%Co₃O₄添加試料と0.5 wt%Co₃O₄添加試料の中間の活性を示している。一方、H₂酸化反応に関しては、同様な傾向の活性変化がみられるが、その変化幅はCOの場合と比べてかなり小さい。このような酸化活性の変化がセンサの応答特性にどのように影響しているかを見るために、各In₂O₃試料についての

図8 In₂O₃系試料のCOおよびH₂酸化活性の温度依存性
Fig. 8. Catalytic oxidation of CO (a) and H₂ (b) over In₂O₃-based samples.

図9 In₂O₃系試料の250℃におけるCOに対する感度と転化率との関係

Fig. 9. CO sensitivities as correlated with CO conversion at 250℃ for In₂O₃-based samples.

COおよびH₂に対する250℃での感度と転化率との関係を図9に示した。COについては、中程度の活性を示すAu(0.04 wt%)-Co(0.5 wt%)-In₂O₃試料の時に、感度が極大値を示していることがわかる。このような酸化活性によるCO感度の変化は、活性の程度により以下の3ケースに分類できる。1) 酸化活性が高すぎる5 wt%Co₃O₄添加の場合には、被検ガスであるCOがPt電極の位置する素子内部に拡散して到達する前に酸化消費されてしまい、素子内部の吸着酸素種との反応が進まないため高い感度は得られない。2) 適度な活性を示す0.5 wt%Co₃O₄添加試料、およびこれにさらに0.04 wt%Auを添加した試料の場合には、被検ガスが素子内部に拡散する過程でCOの酸化が起これ、素子内部の吸着酸素種がかなり消費されるため、高い感度が得られる。3) 活性の低いIn₂O₃単独試料の場合には、吸着酸素種とCOとの酸化反応がほとんど起こらないまま素子内部を通過してしまうため、CO感度は低い。このように、酸化活性は感度発現の一つの要因となっていると考えられる。一方、CO選択性の発現はCO酸化活性とH₂酸化活性との相対的な差によって決定されることが考えられる。本試料系の場合には、上述のようにH₂酸化活性自体がCO酸化活性よりも相対的に小さいために、かなり高いCO選択性が発現しているとともに、試料による変化もあまり大きくないために、CO選択性の変化は主にCO酸化活性により決まっていると考えることができよう。なお、貴金属の添加効果に関しては、化学的および電子的な効果に基づく増感作用があることが提案¹¹⁾されているが、本試料系でどの程度それらの寄与があるかについては、今後さらに詳しく検討する必要がある。

4. まとめ

燃焼排ガス用高性能COセンサの開発を目指して、酸化物半導体であるIn₂O₃をベース検知材料とした素子につい

て検討を行った結果、以下のような新しい知見が得られた。

- 1) In_2O_3 材料に第2成分として遷移金属酸化物を添加した場合、添加量と作動温度を制御して、特に0.5 wt% の Co_3O_4 を添加して250 °Cにおいて作動させた場合に、COに対して高い感度と選択性が得られた。
- 2) この $\text{Co}(0.5 \text{ wt}\%)\text{-In}_2\text{O}_3$ 素子に第3成分としてAuを0.04 wt% 添加することにより、COに対する応答・回復特性が改善されるとともに、CO感度、選択性もさらに向上することがわかった。
- 3) Au-Co- In_2O_3 素子は、 H_2 、 CO_2 、 CH_4 、 C_3H_8 、NO等の他ガスの影響をほとんど受けずに、0～2000 ppmのCOに対して良好な検知特性を示すことがわかった。
- 4) Co- In_2O_3 および Au-Co- In_2O_3 試料は、適度なCO酸化活性を示すために高いCO感度が得られ、相対的にかなり低い H_2 酸化活性を示すために高いCO選択性が得られたものと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、文部省科学研究費基盤研究A(No. 07405058)、および日本板硝子材料工学助成会研究助成金によった。ここに記して謝意を表する。

(平成9年7月17日受付、平成9年9月11日再受付)

参考文献

- (1) N. Yamazoe, Y. Kurokawa and T. Seiyama: "Effects of Additives on Semiconductor Gas Sensors", *Sensors and Actuators*, **4**, 283-289 (1983).
- (2) N. Murakami, K. Takahata and T. Seiyama: "Selective Detection of CO by SnO_2 Gas Sensor Using Periodic Temperature Change", *Digest of Technical Papers for 4th Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '87)*, Tokyo, 618-621 (1987).
- (3) G. S. V. Coles, G. Williams and B. Smith: "Selectivity Studies on Tin Oxide-based Semiconductor Gas Sensors", *Sensors & Actuators B*, **3**, 7-14 (1991).
- (4) H. Mitsuhashi, K. Fukui and M. Nakane: "Multi-layer Structure CO Selective Gas Sensor", *Chemical Sensors*, **10** (Supplement A) 29-32 (1994).
- (5) U. Lampe, J. Gerblinger and H. Meixner: "Carbon-monoxide Sensors Based on Thin Films of BaSnO_3 ", *Sensors & Actuators B*, **24/25**, 657-660 (1995).
- (6) Y. Nakamura, H. Yoshioka, M. Miyayama, H. Yanagida, T. Tsurutani and Y. Nakamura: "Selective CO Gas Sensing Mechanism with CuO/ZnO Heterocontact", *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 940-943 (1990).
- (7) T. Kobayashi, M. Haruta, H. Sano and M. Nakane: "A Selective CO Sensor Using Ti-doped $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ with Coprecipitated Ultrafine Particles of Gold", *Sensors and Ac-*

tuators, **13**, 339-349 (1988).

- (8) H. Yamaura, J. Tamaki, K. Moriya, N. Miura and N. Yamazoe: "Selective CO Detection by Using Indium Oxide-based Semiconductor Gas Sensor", *J. Electrochem. Soc.*, **143**, L36-L37 (1996).
- (9) H. Yamaura, T. Jinkawa, J. Tamaki, K. Moriya, N. Miura and N. Yamazoe: "Indium Oxide-Based Gas Sensor for Selective Detection of CO", *Sensors & Actuators B*, **35/36**, 325-332 (1996).
- (10) H. Yamaura, J. Tamaki, K. Moriya, N. Miura and N. Yamazoe: "Highly Selective CO Sensor Using Indium Oxide Doubly Promoted by Cobalt Oxide and Gold", *J. Electrochem. Soc.*, **144**, L158-L160 (1997).
- (11) N. Yamazoe: "New Approaches for Improving Semiconductor Gas Sensors", *Sensors & Actuators B*, **5**, 7-19 (1991).

山浦弘之

(非会員) 1972年2月26日生。1996年九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。現在、同研究科博士後期課程在学中。酸化物半導体を用いたCOセンサの研究に従事。

玉置 純

(非会員) 1961年1月28日生。1988年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。九州大学大学院総合理工学研究科助手を経て、1996年から立命館大学理工学部化学科助教授。工学博士。主として半導体ガスセンサ、酸化物触媒の研究に従事。

守家浩二

(非会員) 1960年4月3日生。1985年京都大学大学院工学研究科分子工学専攻修士課程修了。同年大阪ガス(株)入社。現在、大阪ガス(株)応用研究所勤務。主として、燃焼装置用のガスセンサの開発とその応用に関する研究に従事。

三浦則雄

(正員) 1950年7月5日生。1978年九州大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得後退学。1982年九州大学大学院総合理工学研究科助教授、現在に至る。工学博士。主に、新しい機能性セラミックスの設計・開発とそれらの化学センサ、二次電池、電気化学的表示素子などへの応用に関する研究に従事。

山添 昇

(正員) 1940年12月23日生。1968年九州大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得後退学。1981年同大学大学院総合理工学研究科教授、現在に至る。工学博士。主に機能性セラミックスを用いた化学センサなどの機能性デバイスの設計・開発に関する研究に従事。