

令和 2 年 4 月 10 日現在

機関番号：17401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2019

課題番号：15KK0189

研究課題名（和文）半導体ナノ結晶のpn接合による高度ガス認識界面の創出（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Design of highly sensitive gas detection interface based on semiconductor nanocrystals(Fostering Joint International Research)

研究代表者

木田 徹也（KIDA, Tetsuya）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・教授

研究者番号：70363421

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,000,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では、これまでに申請者が蓄積してきたナノ結晶を用いたガスセンサの作製・評価技術をベースにして、以下の成果を得た。1）高いガス拡散性を有するZnOナノロッド膜とCuOナノ結晶を組み合わせてpn接合デバイスを作製し、H<sub>2</sub>Sの高感度検知が可能なpn接合界面を創出した。2）ZnOナノロッドがエタノール、アセトン等のVOCに対して加湿中でも極めて高い応答感度を有することを明らかにした。3）MoS<sub>2</sub>、WS<sub>2</sub>の新しい合成手法を開発し、これら材料が低温で高いH<sub>2</sub>S感度を有することを見出した。4）プロトン導電性の酸化グラフェンと酸化物を組み合わせることで、低温作動型のガスセンサが構築できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、H<sub>2</sub>S、H<sub>2</sub>、エタノール、アセトン等のガスを高感度かつ低温において検知できる種々のガスセンサを開発した。ガス感応膜のガス拡散性と反応性を制御することで、種々のガスを高感度に検知できるメカニズムを明らかにできた点において、学術的な価値がある。さらに、材料の組成と形態をナノレベルでデザインすることで低温かつ高湿度環境で作動できるガスセンサを開発でき、これらは実環境中でも使用できる可能性が大きく、応用技術的にも本成果は大きな意義がある。また、本国際共同研究を通じてヨーロッパのガスセンサ研究者と強固なネットワークを築くことができ、密な人的交流に発展できたことも本研究の大きな成果である。

研究成果の概要（英文）：In this research, the following results were obtained based on the gas sensor technology that we developed using nanostructured materials. 1) A pn junction device was fabricated by combining a ZnO nanorod film having a high gas diffusibility and CuO nanocrystals. The device allowed for highly sensitive detection of H<sub>2</sub>S. 2) It was revealed that ZnO nanorods have an extremely high sensitivity to VOCs such as ethanol and acetone even under humidified air conditions. 3) A new synthesis route of MoS<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub> was developed, and a device using the synthesized 2D materials showed a high H<sub>2</sub>S sensitivity at low temperatures. 4) A low-temperature operable gas sensor was developed by coupling proton conductive graphene oxide with metal oxide electrodes.

研究分野：無機材料化学

キーワード：ガスセンサ 酸化物半導体 二次元物質 ナノ結晶 ナノロッド VOC

## 1．研究開始当初の背景

酸化物半導体を用いた抵抗測定式ガスセンサは日本生まれの重要技術であり、ガス漏れ検知や空気環境のモニタリング、プロセスコントロール等に幅広く利用されている。さらに現在では、微量でも環境や人体に影響を与えるガスにも検知対象が広がり、住環境保全や製造技術になくてはならないものとなっている。しかしながら、酸化物半導体型センサの大問題は、その消費電力の高さである。酸化物表面の吸着酸素とガスとの反応を利用する本デバイスでは、この気固界面での反応促進のため、300°C程度の加熱が不可欠である。そのため従来型のセンサでは素子の小型化が難しい。センサの小型化・省電力化により幅広い応用を可能にするために、センサの低温作動化が強く求められている。

## 2．研究の目的

そこで本研究では、これまでに申請者が蓄積してきたナノ粒子（ナノ結晶）を用いたガスセンサの作製・評価技術をベースにして、半導体ナノ結晶を用いた pn 接合ダイオードを基礎とする低温作動型ガスセンサの創製を目指した。一般的にダイオードにおいては、pn 接合の状態変化はデバイスの電気特性に大きな影響を及ぼす。もし、pn 接合部の空乏層の厚みや電位障壁が特定のガスによって変化すれば、大きな電気特性変化、すなわち大きなガス応答が得られるはずであり、それは超高感度センサの開発に繋がる。この考えに基づき、ガス拡散性のあるナノ結晶膜を用いて pn 接合デバイスを作製し、ガス認識可能な pn 接合界面の創製を試みた。さらに、光照射によるガスセンサにおける反応促進も試みた。ヒーター加熱に代わり光照射によるセンサ作動が可能になれば、ヒーターを使用しない室温作動型センサが実現できる。また、低温作動化のため室温でプロトン導電性を示す酸化グラフェンの使用も検討した。

## 3．研究の方法

### <n 型半導体材料>

n 型半導体として ZnO, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> に着目した。ZnO は広くガスセンサに使用されているガスセンサ材料であるが、その形状をナノレベルで制御することで、多様なガスの検知が可能になることがわかってきた。さらに、下に示す CuO/Cu<sub>2</sub>O と組み合わせることで pn 接合膜の構築が可能である。そこで、ZnO ナノ結晶、ZnO ナノロッドを合成し、CuO/Cu<sub>2</sub>O と組み合わせることでガスセンサとし、その特性を評価した。

また、半導体性をもつ二次元物質である層状遷移金属ジカルコゲナイド（LTMD）のセンサ材料としての可能性も評価した。これら材料は比表面積が大きく、バンドギャップが小さいため、センサの高感度化および低温作動化が望める。特に、代表的 LTMD である二硫化モリブデン（MoS<sub>2</sub>）は揮発性有機化合物と強く結合するという報告がある。本研究では、MoS<sub>2</sub> ナノシートの新しい合成手法として、MoO<sub>3</sub> ナノシートを出発原料とし、層剥離・硫化を液相で行った。得られた材料を用いてガスセンサを作製し、そのエタノール検知特性を評価した。さらに同様の手法による WS<sub>2</sub> の合成も試みた。

### <p 型半導体材料>

p 型半導体としては Cu<sub>2</sub>O, CuO, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> に着目した。これらは ZnO と組み合わせる場合に良好な整流性を示す上、特に Cu<sub>2</sub>O/CuO は安価で無害な点が実用センサ材料として有利である。そこで、これらナノ結晶の合成とそのガス検知特性について詳細な検討を行った。

### < 固体電解質 >

上述した半導体材料に加えて、室温で高いプロトン導電性を示す酸化グラフェンに着目した。グラファイトから酸化と層剥離によって酸化グラフェンナノシートの分散液を調製し、それを真空濾過することでメンブレンフィルター上に積層膜を作製した。これを貴金属/酸化物電極と組み合わせてガスセンサを構築した。

## 4. 研究成果

### < pn 接合膜のガス検知特性 >

まず ZnO ナノロッドの合成を行った。図 1 に示す ZnO ナノ結晶をホットソープ法によって合成し、それを種結晶として ITO またはアルミナ基盤に積層した。この種結晶基盤をヘキサメチレンテトラミンと硝酸亜鉛を含む水溶液に浸漬し、水熱処理を行うことで図 1 に示す ZnO ナノロッド膜を得た。次に銅アセチルアセトン塩をオレイルアミン中、ジオール存在下で加熱することで、図 1 に示す粒径 10 nm の単分散性の CuO ナノ結晶を合成した。

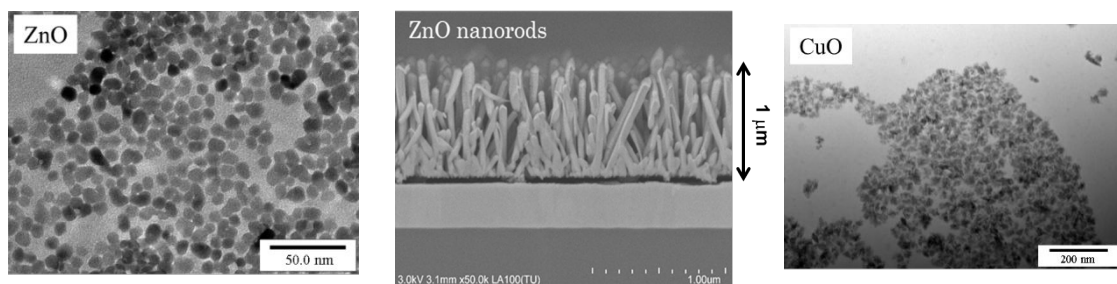


図 1 ZnO ナノ結晶、ZnO ナノロッド膜、CuO ナノ結晶の電子顕微鏡写真

合成した CuO ナノ結晶表面のオレイルアミンをメルカプトプロピオン酸に配位子交換して水溶性にした後、ZnO ナノロッド膜に積層して pn 接合膜を作製した。これに金電極を蒸着で取り付けセンサ素子とした。図 2 には、本デバイスの 8 ppm H<sub>2</sub>S を含む空気中の 150°C における IV 曲線を示す。デバイスは、空気中で明確な整流特性を示し、CuO ナノ結晶と ZnO ナノロッドの接合によって pn 接合が形成されたことが明らかである。一方、この整流特性は、H<sub>2</sub>S 雰囲気下では失われ、順方向および逆方向の電流は大幅に減少した。

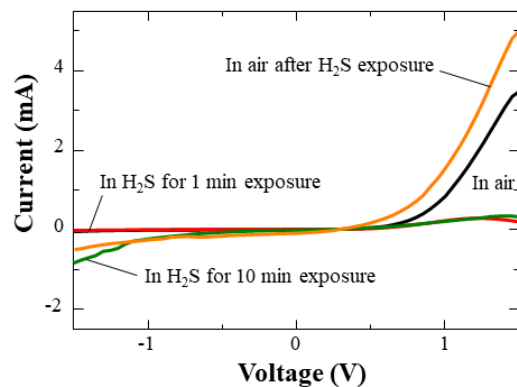


図 2 ZnO ナノロッド/CuO ナノ結晶接合膜の空気および H<sub>2</sub>S 中での IV 曲線

これは、CuO 上の吸着酸素と H<sub>2</sub>S の表面反応により、CuO の電気抵抗が大きく増加したためと考えられる。しかし、空気の再導入により CuO 上への酸素の再吸着が生じ、整流特性は回復した。この電気特性変化は可逆であるため、これは低温で作動する pn 接合型ガスセンサの可能性を示す結果である。現在、より詳細なメカニズムを検討中である。

### < ZnO ナノロッドのガス検知特性 >

ZnO ナノロッド自体のガスセンサ特性についても調査した。ZnO ナノ結晶をシード層として、白金電極を取り付けたアルミナ基板上に ZnO ナノロッドを成長させてガスセンサ素子とした。図 3 は、測定温度 300°C で、CO (50 ppm)、H<sub>2</sub> (50 ppm)、トルエン (0.2 ppm)、アセトン (2 ppm)、

エタノール(12 ppm)、NO<sub>2</sub> (1.75 ppm)に対する応答を示す。ZnO ナノロッドは、特にアセトンとエタノールに対して高い感度を示した。特筆すべきは、相対湿度が70%と高い場合においても、感度 ( $S = \text{空気中の抵抗}/\text{ガス中の抵抗}$ ) が約 100 と非常に高いことである。これは、ナノ粒子からナノロッドへ形態が変化したことによる比表面積の増大と非極性結晶面 (M 面) の露出に起因していると考えられる。ZnO ナノロッドが医療分野における、呼気中に含まれる ppb レベルのアセトンガスを検知するための、有効な検知材料でとなる可能性を示唆している。

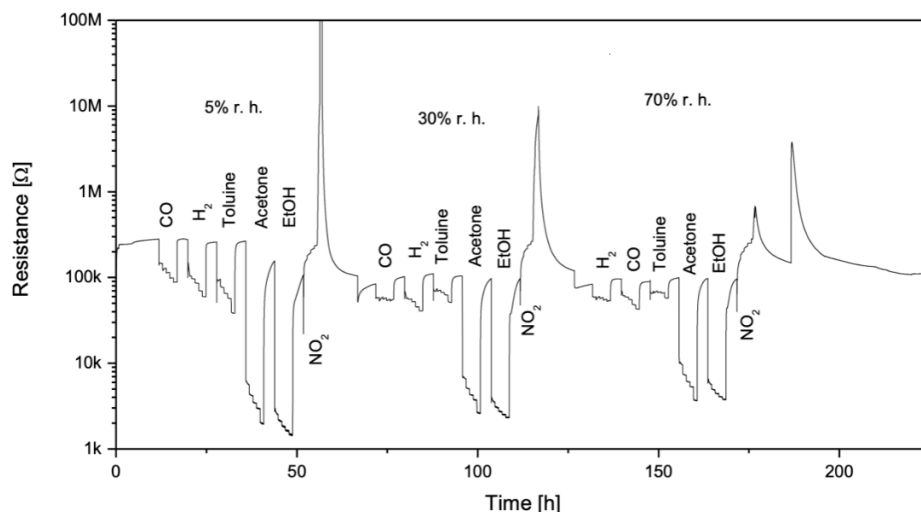


図3 ZnO ナノロッドの 300°Cにおける CO (50 ppm), H<sub>2</sub> (50 ppm), トルエン(0.2 ppm), アセトン(2 ppm), エタノール(12 ppm), NO<sub>2</sub> (1.75 ppm)に対する応答

< MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> の新規合成方法とそのガス検知特性 >

MoS<sub>2</sub> ナノシートは MoO<sub>3</sub> 粉末を層間剥離し、それを硫化することで合成した。まず、MoO<sub>3</sub> を DMF 中でオクチルアミンによって超音波で処理して、層間剥離を行い MoO<sub>x</sub> ナノシートを得た。次に、硫化剤として 4-メチル-n-ベンゼンスルホアミド (BTS) を用いて、オレイルアミン中 250°C で MoO<sub>x</sub> を硫化し MoS<sub>2</sub> を得た。金くし型電極を取り付けたアルミナ基板にナノ結晶を積層し、センサ素子を作製した。

作製したガスセンサのエタノールに対する応答を図4に示す。MoS<sub>2</sub> センサは 300°C 以上でエタノールに対して良好な応答を示した。電気抵抗値はエタノールの導入で大きく減少し、n 型半導体に特有の応答がみられた。従って、センサ応答機構としては、エタノールの表面吸着酸素との燃焼反応によるものである。同様の手法で作製した二つの素子において高い感度 ( $S = 190$ ) が得られ、再現性も高い。一方、H<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> に対しては感度が 5 未満であり、優れたエタノール選択性を示した。

しかしながら作動温度がまだ高いため、金の担持を行った。図5には、同様の手法で合成した WS<sub>2</sub> ナノシートに金を担持した場合の TEM 像を

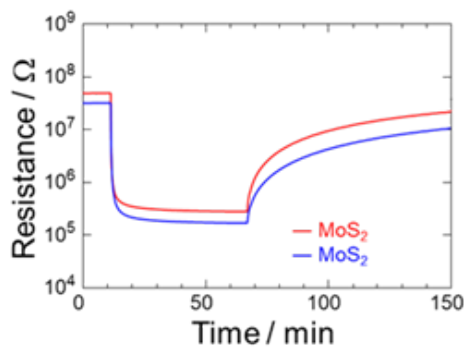


図4 300 °Cでの 20 ppm エタノールに対する MoS<sub>2</sub> のセンサ応答

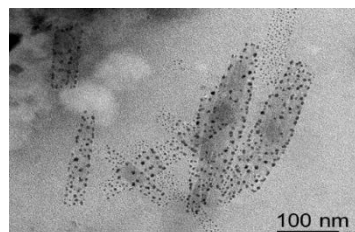


図5 Au-WS<sub>2</sub> の TEM 画像

示す。ナノシートに均一に金ナノ粒子が担持されたことが確認された。現在、本材料のガスセンサ特性について詳細な検討を加えている。

#### <酸化グラフェンと酸化物を接合したガスセンサ>

グラフェンの前駆体である酸化グラフェン（GO：Graphene oxide）は新しい機能性材料として注目されている。特に、GO 上の酸素官能基（カルボキシ基やエポキシ基）の存在によって発現するプロトン導電性を利用すれば、カーボンベースの電気化学デバイスが実現できる。さらに GO は原料がグラファイトであり環境に優しく、製造方法も単純で低コストといった大きな利点がある。最近我々は、プロトン導電性の GO 自立膜を基盤として、電気化学式のガスセンサが構築できることを報告した。GO のプロトン導電性は室温でもナフィオンに匹敵し、ヒーター加熱が必要なく、さらにナノシート形状のため、センサの大幅な小型化が可能である。本研究では、GO 膜のプロトン導電特性、カチオンインターカレーションによる耐久性向上、GO 膜を用いた可燃性ガスの検知および酸化物電極を用いる白金フリーガスセンサの開発を行った。

黒鉛粉末から Hummers'法または Tour's 法により、酸化グラフェンの水分散溶液を作製した。この溶液に硫酸セリウムを加えた後、吸引の過により濾紙上に積層して GO-Ce 自立膜を得た。自立膜に電極として Pt/C または  $WO_3/GO$  を塗布し、ガスセンサを作製した。

Ce イオンの添加により膜の機械的強度が向上するとともに、プロトン導電性が向上することがわかった。図 6 に検知極として三酸化タングステン-還元 GO 触媒( $WO_3/rGO$ )を接合したデバイスの水素に対する応答特性を示す。センサ起電力は水素濃度の対数に対し直線的に変化し、直線の傾きが 70.7 mV/decade と優れた応答性を示した。他の可燃性ガス、例えば CO やエタノールに対しては応答せず、本白金フリーデバイスは良好な水素検知特性を有することを明らかにできた。センサの応答機構は、水素のアノード酸化と酸素の還元が同時に生じる混成電位で説明できる。さらに  $IrO_2$  ナノ粒子を接合した本デバイスは、水蒸気の酸化分解にも利用できることを明らかにしている。

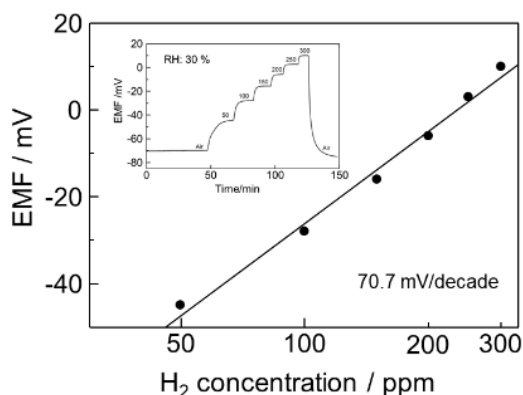


図 6  $WO_3$  電極を接合した酸化グラフェン素子の室温における水素に対する応答

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Anna Staerz, Simona Somacescu, Mauro Epifani, Tetsuya Kida, Udo Weimar, Nicolae Barsan	4. 巻 in press
2. 論文標題 WO3 Based Gas Sensors: Identifying Inherent Qualities and Understanding the Sensing Mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Sensors	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kida Tetsuya, Kido Yuta, Shinkai Takeshi	4. 巻 14
2. 論文標題 H2S Sensing Properties of a Diode-Type Device Using ZnO Nanorods Coupled with CuO Nanocrystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings	6. 最初と最後の頁 26 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/proceedings2019014026	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuki Mikami, Yuta Kido, Yuji Akaishi, Armando Quitain and Tetsuya Kida	4. 巻 19
2. 論文標題 Synthesis of Cu <sub>2</sub> O/CuO Nanocrystals and Their Application to H <sub>2</sub> S Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3390/s19010211">https://doi.org/10.3390/s19010211</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tetsuya Kida, Yuta Kuwaki, Azumi Miyamoto, Nur Laila Hamidah, Kazuto Hatakeyama, Armando T. Quitain, Mitsuru Sasaki, and Atsushi Urakawa	4. 巻 6
2. 論文標題 Water Vapor Electrolysis with Proton-Conducting Graphene Oxide Nanosheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 11753-11758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.8b01998	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計27件(うち招待講演 10件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Tetsuya Kida
2. 発表標題 Gas sensing with ion-conducting materials based on ceramics or carbon
3. 学会等名 The 7th International Workshop of Sensing technology nanotechnology for sensor device application, Nagoya, Japan, 8th March 2019 (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木田 徹也、Aynul Sakinah、Nur Laila Hamidah、新谷 雅貴
2. 発表標題 酸化グラフェンを用いた電気化学的ガスセンシング
3. 学会等名 第79回分析化学討論会 5月18 - 19日、北九州市(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kida, Yuta Kido, Takeshi Shinkai
2. 発表標題 H2S Sensing Properties of a Diode-Type Device Using ZnO Nanorods Coupled with CuO Nanocrystals
3. 学会等名 The 8th GOSPEL Workshop, 20-21 June, Ferrara, Italy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kida
2. 発表標題 Design concept of high-performance gas sensors based-on metal oxide nanostructures
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Yangon 2019, 7-9 August, Yangon, Myanmar (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kida
2. 発表標題 Development of solid electrolyte-type gas sensors for detection of volatile organic compounds
3. 学会等名 13th Asian conference on chemical sensors, 17-20 November, Bali, Indonesia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kida, Nur Laila Hamidah, Masataka Shintani, Aynul Sakinah Ahmad Fauzi
2. 発表標題 Gas sensing with proton-conducting graphene oxide nanosheets
3. 学会等名 The international Conference on Advanced Electromaterials (ICAE), 6-7 November, Jeju, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kida, Nur Laila Hamidah, Masataka Shintani, Aynul Sakinah Ahmad Fauzi
2. 発表標題 Development of Graphene Oxide-Based Gas Sensor
3. 学会等名 The 8th International Conference on BioSensors, BioElectronics, BioMedical Devices, BioMEMS/NEMS, & Applications 2019 (Bio4Apps2019) 18-20 December, Kagoshima (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Shinkai, Yuta Kido, Mitsuru Sasaki, Armando T. Quitain, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Gas detection characteristics of ZnO nanorod / CuO nanocrystals p-n junction
3. 学会等名 8th International Forum on Industrial Bioprocessing (IBA-IFIBiop 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 中島かれん、前田佳也、Barsan Nicolae、末松昂一、木田徹也
2. 発表標題 湿式化学法による硫化タングステンの合成とそのガス検知特性の評価
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島かれん、前田佳也、Anna Stearts、Barsan Nicolae、末松昂一、木田徹也
2. 発表標題 Synthesis of tungsten sulfide by a wet chemical method and evaluation of its gas sensing characteristics
3. 学会等名 13th Asian conference on chemical sensors, 17-20 November, Bali, Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aynul Sakinah, Nur Laila Hamidah, Masataka Shintani, Mitsuru Sasaki, Armando.T Quitain, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Hydrogen gas sensor using Graphene Oxide Composite
3. 学会等名 8th International Forum on Industrial Bioprocessing (IBA-IFIBiop 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aynul Sakinah Ahmad Fauzi, Masataka Shintani, Nur Laila Hamidah, Mitsuru Sasaki, Armando T. Quitain, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Low temperature gas sensing using proton-conducting graphene oxide membranes attached with oxide electrode
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nur Laila Hamidah, Aynul Sakinah Ahmad Fauzi, Masataka Shintani, Mitsuru Sasaki, Armando T. Quitain, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Electrochemical gas sensor based on proton conducting graphene oxide membrane
3. 学会等名 13th Asian conference on chemical sensors, 17-20 November, Bali, Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aynul Sakinah Ahmad Fauzi, Nur Laila Hamidah, Masataka Shintani, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Gas sensing with cation-doped graphene oxide membranes fitted with oxide electrodes
3. 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 23-24 November, Kumamoto (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木田徹也
2. 発表標題 Gas sensing with semiconducting metal oxide nanostructures
3. 学会等名 CIMTEC 2018 14th Ceramics Congress, Perugia, Italy, June 4 to 14, 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木田徹也
2. 発表標題 揮発性有機化合物の高感度検知を目指した 固体電解質および半導体型ガスセンサの開発 (清山賞受賞講演)
3. 学会等名 2018年 電気化学秋季大会、金沢大学、9月25～26日 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木田徹也
2. 発表標題 酸化グラフェンの電気化学および触媒的応用
3. 学会等名 第58回オーロラセミナー触媒学会北海道支部、札幌、6月8日（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuya Kida
2. 発表標題 Gas sensing with ion-conducting materials based on ceramics or carbon
3. 学会等名 The 7th International Workshop of Sensing technology nanotechnology for sensor device application, Nagoya, Japan, 8th March 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田佳也、木戸悠太、Quitain T.Armand、佐々木満、木田徹也、
2. 発表標題 MoS2ナノ結晶の湿式合成とガスセンサ特性
3. 学会等名 第55回化学関連支部合同九州大会、北九州、2018.06.30
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 佳也、中島 かれん、船津 麻美、末松 昂一、佐々木 満、 Armando T. Quitain、木田 徹也
2. 発表標題 MoS2ナノシートの新規合成方法の開発 とガス検知特性評価
3. 学会等名 2018年 電気化学秋季大会、金沢大学、9月25～26日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新谷 雅貴、Aynul Sakinah Ahamad Fauzi、Nur Laila Hamidah、佐々木 満、Armando T. Quitain、木田 徹也
2. 発表標題 酸化グラフェン-金属イオン複合膜を用いた 電気化学式ガスセンサ
3. 学会等名 2018年 電気化学秋季大会、金沢大学、9月25～26日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新谷 雅貴、Aynul Sakinah Ahamad Fauzi、Nur Laila Hamidah、佐々木 満、Armando T. Quitain、木田 徹也
2. 発表標題 酸化物電極を接合した酸化グラフェン電気化学式ガスセンサ
3. 学会等名 平成30年度 日本セラミックス協会 九州支部 秋季研究発表会、熊本、2018年11月22日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木田徹也
2. 発表標題 Gas Sensing with metal oxide nanocrystals
3. 学会等名 Engineering Workshop 2018, Kumamoto University, November 15-17, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Kido, Mitsuru Sasaki, Armando T. Quitain, Tetsuya Kida
2. 発表標題 Fabrication of pn junction films using ZnO nanorods and semiconductor nanocrystals for gas sensing
3. 学会等名 The 31st International Symposium on Chemical Engineering (ISChE 2018), Chiang Mai, Thailand, 30th November to 2nd December 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木戸悠太, 木田徹也
2. 発表標題 半導体ナノロッド/ナノ結晶pn接合膜の作製と光電効果特性
3. 学会等名 化学関連支部合同九州大会, 福岡県小倉市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木戸 悠太, 木田徹也
2. 発表標題 ZnOナノロッドを用いた半導体ナノ結晶pn接合膜の作製
3. 学会等名 第28回九州地区若手ケミカルエンジニアリング討論会, 熊本県水俣市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野和華子, 木戸悠太, キタインアルマンド, 佐々木満, 木田徹也
2. 発表標題 Cu <sub>2</sub> Oナノ結晶/ZnOナノロッド膜を用いたグルコースの光酸化
3. 学会等名 平成29年度セラミック協会九州支部秋季合同研究発表会, 北九州市
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	アツシ ウラカワ  (Atsushi Urakawa)	カタロニア化学研究所・Urakawa Group・Group leader	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ニコライ バラサン  (Nicolae Barsan)	チュービンゲン大学・Institute of Physical and Theoretical Chemistry・Group leader	