

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00756

研究課題名(和文) ナノスケール熱配慮設計とオペランド分光に基づく低エネルギー分子認識センサの創製

研究課題名(英文) Development of low-energy molecular sensors with nanoscale thermal-aware device design and operando spectroscopy

研究代表者

内田 建 (Uchida, Ken)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：30446900

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,600,000円

研究成果の概要(和文)：モノのインターネット時代の到来により、我々の身の回りの情報を長期間にわたりセンシングすることが益々重要になっている。しかし、空間に漂う低分子ガスの濃度や分子種を繰り返し計測することは難しい。本研究課題では、貴金属ナノシートセンサの表面を自己ジュール加熱で活性化する技術に取り組み、より高信頼・低エネルギーでセンサ表面を活性化できるように発展させた。また、センサ表面の反応をその場計測する技術(オペランド計測技術)を活用することで、センサの動作原理を究明した。その結果、低エネルギーで長時間にわたって分子を検出できる合金分子センサを実現することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分子センサの開発では、ジュール加熱による低エネルギーの分子センサを実現するとともに、ジュール加熱に直流バイアスを用いた場合と比較して、交流バイアスでは周波数を高くするほど寿命が長くなることを明らかにした。また、Ptナノシートセンサの抵抗値が、Pt表面におけるガス分子の結合状態に大きな影響を受けることを、センサ動作時の表面状態の観察(オペランド計測)で示し、さらに2つの元素からなる二元合金を用いることで、分子センサの性能が向上することを実証した。長寿命かつ高性能な分子センサの実現は、日常的な健康状態チェックなどに使える可能性があり、社会に大きなインパクトを与えると期待できる。

研究成果の概要(英文)：As the Internet of Things era is going to be realized, long-term sensing of various kinds of information around us is becoming increasingly important. However, it is difficult to continuously measure the concentration and kinds of low-molecular-weight gases floating in our living space and environments. In this research project, we have developed a technique for activating the surface of a noble metal nanosheet sensor by self-Joule heating, which can activate the sensor surface with higher reliability and lower energy. We have also investigated the principle of sensor operation by utilizing in-situ measurement of the sensor surface reaction (operando measurement technique). As a result, we succeeded in developing an alloy molecular sensor that can detect molecules at low energy for a long period of time.

研究分野：電子デバイス, 集積回路工学

キーワード：分子センサ ジュール熱 オペランド分光 電子輸送 準大気圧XPS

## 1. 研究開始当初の背景

モノのインターネット時代の到来により、我々の身の回りの情報を長期間にわたりセンシングすることが益々重要になっている。加速度などの物理量は現状でも繰り返し計測できるが、空間に漂う低分子ガスの濃度や分子種を繰り返し計測することは難しい。IoT 社会においては、より多様なデータを取得することが望まれるため、気相中の低分子を高感度かつ継続的に計測できる技術が創出できれば、そのインパクトは計り知れない。

本研究課題をスタートした当時における本課題実施者らの分子センサ（気相中を漂う低分子を認識するセンサ）の状況について簡単に説明する。本課題実施者らは課題が始まる前年に、Pt ナノシートを用いて呼気中の水素を高感度で認識するセンサを開発することに成功した（*Sens. Actuators B*, 258, 913, 2018）。呼気には大量の水分が含まれるため、呼気中の微量の水素を識別することは従来難しかったが、開発した Pt ナノシートセンサは 100% 相対湿度（35000ppm の水分子）の大気中においても、0.5 ppm から数百 ppm の水素を認識することが可能であった。また Pt 表面における水素・酸素の吸着脱離に基づいて、低濃度でのセンサ動作をモデル化することにもある程度の定量性をもって成功していた。しかしながら、このモデル化にはいくつかの仮定があった。すなわち、センサが動作する 150 程度の低温では分子の吸着脱離パラメータのいくつかは不明であり、より高温で測定された文献データから妥当と予想される仮の値を利用していた。これらの経験を通し、センサ表面の分子状態をセンサが動作する温度で、センサの表面を直接計測すること無くして、低濃度から高濃度までの完全なモデルを構築できないことを痛感していた。また一方で、分子センサを広く活用するためには、水素だけでなく、呼気中に比較的高い濃度で含まれる他の低分子（水素・アンモニア・アセトンなど）を検出する必要があるが、Pt ナノシートでは水素とアンモニアの区別ができないという問題があった。なお、低分子センサでは、世界的には酸化物半導体を利用したセンサが広く研究されているが、ガス分子の識別は、課題実施者らが取り組んでいる金属ナノシートセンサよりも、さらに困難であることが広く認識されていた。また、広く用いられている酸化物半導体センサは、動作原理として酸化物表面における標的分子と酸化物の酸化還元反応を利用するために、動作に 250 程度の高温が必要であり、その温度を実現するために高いエネルギーが必要であるという問題があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、気相中に漂う複数の低分子ガスの分子種と濃度を、長期にわたり低エネルギーで認識するセンサを合金ナノシートで創出することを目的とした。そのために、課題実施者らの独自技術である ナノ材料の熱配慮設計によりジュール熱を受容部に局在化させ低エネルギーかつ高速に化学反応と分子の吸着脱離を制御する技術、軟 X 線や赤外線により表面の合金組成や分子の状態を触媒反応下で計測するオペランド分光法による計測技術、それぞれの技術を発展させることで、低エネルギーで複数種の分子が識別できるセンサの創出を目指した。による化学反応の制御で分子認識能を獲得、また高温で吸着物を脱離・燃焼し回復特性を得て、により合金表面での触媒反応と、合金ナノシートの電気抵抗が如何に変化するかを学術的に理解し、最適な合金組成を設計する。これらにより、最終的に気相中の低分子を長期間繰り返し認識する低エネルギーの分子センサを創出することを目的とした。

## 3. 研究の方法

方法 合金ナノシートによる分子認識能の高度化

金属ナノシートセンサに、より多様な分子認識能を付与するために、合金ナノシートを利用する。本研究課題では、遷移金属の二元系合金についてセンサを作製し、各種標的分子に対する応答を調べる。標的分子として、大気と比較して呼気中で有意に濃度の高い分子群について調査をする。研究分担者の近藤（慶應大）は、放射光 X 線や赤外振動分光を用いた触媒表面のオペランド計測（すなわち、動作中のデバイスの表面状態を直接観察する）を実施する。まずは、Pt ナノシートおよび Pt-Rh ナノシートの各均一膜のオペランド計測を行い、表面組成や表面反応の理解を深める。その後、より多様な合金金属について探究する。

方法 標的分子の吸着脱離と化学反応のジュール加熱による制御

デバイス化した合金シートは、はじめにヒータで温度を変え、表面における触媒反応・センサ応答を制御することを目指す。その後、本研究課題の特徴であるジュール熱による局所加熱を実施し、局所加熱の利点と欠点を明らかにする。また、合金ナノシートに適した熱配慮設計により、従来のヒーター加熱では周辺をも昇温してしまうために消費エネルギーが大きく、集積回路の要素素子で実現できなかった低エネルギーでの高温かつ高速の加熱を実用環境で達成する。

方法 合金ナノシート表面状態がセンサの分子選択性や電気抵抗に及ぼす影響の明確化

金属薄膜上の吸着分子が、金属薄膜の電気抵抗に及ぼす影響は、R. G. Tobin らの文献（R. G. Tobin *et al.*, *Surf. Sci.*, vol. 502-503, 374, 2002）にまとめられている。しかし、金属薄膜に吸着した分子の局所状態密度などのエネルギー状態が分からないと、吸着物による電子散乱などの定量的な記述はできない。そのため、センサ動作時の吸着分子の結合状態、触媒反応などをオペランド分光法で調べ、また吸着分子のエネルギー状態を第一原理計算で計算する。従来の金属薄膜抵

抗のモデルは単純な平板フィルムを仮定しているが、実際のフィルムは多くの粒界を有する多結晶構造であり、また異種の金属が粒界に存在するより複雑な構造となっている。透過電子顕微鏡などにより、合金ナノシートの構造や組織の解析を行う。また、モデル化のために、極端条件、すなわち表面が水素（あるいは酸素）で完全に被覆された状態の合金ナノシートの電気抵抗の温度依存性を測定する。これらの実験データを第一原理計算や輸送計算と比較検討することで、未だ明らかではない、吸着分子が合金ナノシートの電気抵抗に及ぼす影響を明らかにする。

#### 4. 研究成果

はじめに、金を標準試料として採用し、移動度・キャリア密度などのパラメータの抽出とその温度依存性を評価する手法を確立した。通常、表面の吸着分子密度は、温度の関数となるため、吸着物散乱の温度依存性を測定することはできない。課題実施者らは、表面を自己組織化単分子膜で修飾することで、表面の吸着分子密度が温度に依存しない系を実現することで、表面で化学結合をした分子が金属ナノシートの抵抗値に及ぼす影響の温度依存性を取得することに成功した（T. Kato et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **60**, SBBH13, 2021）。このような吸着物散乱の温度依存性のデータは従来に無い先駆的なものである。また、チオール系自己組織化単分子膜で修飾した金ナノシートの抵抗変化の起源が金と硫黄の結合に起因することを明らかにした。これらのデータは、吸着分子が金属ナノシート抵抗（金属ナノシート中の電子の表面吸着物散乱）に及ぼす影響の理解を深耕する上での基礎的データになる成果である。

上記の実験から、金-硫黄結合が電子散乱を増大することが明らかになったため、金ナノシートを利用した硫化水素などの硫化物センサを新たに開発することを試みた。その結果、金ナノシートセンサは、大気中の夾雑分子が存在する環境下においても、硫化水素を選択的に高感度で認識できることを明らかにした。本研究課題では、ジュール加熱による昇温により、センサ表面の夾雑分子を酸化・除外しセンサを清浄にすることで、繰り返し利用可能な堅牢なセンサの実現を目指していた。TiN 密着層を開発したことで、ジュール加熱による昇温時の安定性が格段に向上し、センサの堅牢性の大幅な向上が期待できるようになった。さらに、後方散乱電子回折（Electron Back Scatter Diffraction: EBSD）により、金ナノシートを構成する結晶粒の方位や大きさを評価した。これらは、センサ応答を理解する上で不可欠のデータである。

オペランド分光においては、準大気圧 XPS により Pt ナノシートの抵抗と表面状態に相関があることを様々な温度で確認した。Pt 表面が水素終端となることで、抵抗が低減することを明瞭に示すことに成功した。さらに、PtRh をはじめとする合金ナノシートにおいて、同様に抵抗と表面状態の相関を示すデータを取得した（R. Toyoshima et al., *Chem. Commun.*, **56**, 10147, 2020）。このとき、準大気圧 XPS 測定中に導入するガス分子について、水素だけでなく、アンモニアも利用することで、未だ動作原理が不明な PtRh 合金ナノシートセンサにおけるアンモニア雰囲気中での水素センシングの原理理解に取り組んだ。動作中のナノシート表面のオペランド分析により、水素ガス、アンモニアガスに対するセンシング特性と表面状態の関係を調べた。Pt, Rh, PtRh 合金のオペランド分析結果の比較から、合金表面に存在する Rh 酸化物がアンモニアをブロックし、表面に一部存在する Pt が水素を効率的に検出するメカニズムを提案することが出来た（R. Toyoshima et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, **13**, 8546, 2022.）。

さらに、センサ用材料としての合金データベースを充実させることを念頭に、Pt と Au の合金によるアセトンセンサを作製し、機械学習ポテンシャルを使った高速原子シミュレーターを活用することにより活性化エネルギーと反応熱を調べ、センサ性能変調の記述パラメータを見出した。PtAu 合金は、Pt と Au を連続成膜した後に窒素雰囲気中でアニールすることにより実現した。成膜した PtAu 合金ナノシートと Pt ナノシートのアセトンに対する応答の温依存性から、PtAu 合金ナノシートは 260 °C での応答が最も大きくなることが分かった。さらに、このセンサがもっとも敏感になる 260 °C において、アセトン濃度と感度の関係を調べ、センサ応答がアセトン濃度の平方根に依存することから、アセトンから 2 個の水素が脱離して応答に寄与することを明らかにした。また、3 法により検出下限（Limit of Detection: LOD）を求めると、PtAu 合金ナノシートの場合には 14ppb という優れた LOD を示すことが分かった。さらに、水素に対する応答を調べたところ、PtAu 合金ナノシートと Pt ナノシートで感度はほぼ同じであるものの、応答速度が PtAu 合金ナノシートの方が圧倒的に速いことが分かった。これらのメカニズムを調べるために、機械学習ポテンシャルを利用した高速汎用原子シミュレータにより Nudged Elastic Band (NEB) 法で活性化障壁と反応熱を計算した。PtAu 合金については、表面の合金組成の全ての場合について網羅的に探索し、もっとも活性化エネルギーが小さくなる場合を抽出した。さらに、活性化障壁の記述子を探索し、アセトンのメチル基の最近接原子と O=C 結合方向にその原子と平行な位置にある再隣接原子との距離が活性化障壁と高い相関があることが明らかになった（Y. Taniguchi et al., submitted to *ECS Fall Meeting*, 2023）。

また、合金ナノシートの材料探索に加え、センサ表面での分子の吸着脱離と化学反応をジュール熱で制御することで分子認識能を高度化する研究も推進した。合金を含めた金属ナノシートの機能をジュール加熱によって向上させるために、Au ナノシート チャンネル部、合金アクセス部（チャンネルと電極を接続する部位）、電極部からなるセンサデバイスの熱シミュレーションを実施した。その結果、熱伝導の低い合金アクセス部を設けることで、熱がチャンネル部（センシング部）に局在化し、低電力センサとして機能することを見出した（T. Kato et al., submitted to *Int. Conf. on Solid-State Devices and Materials*, 2023）。さらに、貴金属ナノシートセンサ（具体的には

金ナノシートセンサ)にDC電流によるジュール加熱ではなく、AC電流によるジュール加熱を行うことでセンサの寿命を大幅に向上し、堅牢なセンサを構築できることを明らかにした。交流バイアスによる長寿命化はLSI配線でも調べられてきた。しかし、センサのように表面が外界に露出している金属ナノシートでACバイアスが長寿命化に有効であるか否かは必ずしも明らかではなかった。交流による長寿命化のメカニズムは、ある瞬間に電流が流れる(この電流の方向を以下では順方向と呼ぶ)ことによるエレクトロマイグレーションで発生した膜中のボイドが、逆方向の電流で修復されることによる。ジュール加熱センサの寿命について、バイアス電流がDC電流の場合と、AC電流の場合とで比較した。AC電流は直流から10kHz程度まで周波数を変えて計測した。その結果、直流バイアスの場合と比較して、10kHzのACバイアスでは寿命が2桁程度以上向上することが明らかになった。現在はパッド容量などのためにより高周波の電流を印加することは難しい。今後、デバイス構造を改善することで、より高い周波数でより長期の信頼性を確保できるように改良していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsumura Mikiya, Tanaka Takahisa, UCHIDA Ken	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental study on shallow and deep dopant properties at the interface of PtO <sub>x</sub> /ZnO Schottky diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac54f3	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 -
1. 著者名 Tanaka Takahisa, Hamanaka Yusuke, Kato Taro, Uchida Ken	4. 巻 7
2. 論文標題 Simultaneous Detection of Mixed-Gas Components by Ionic-Gel Sensors with Multiple Electrodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Sensors	6. 最初と最後の頁 716 ~ 721
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acssensors.1c02721	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 -
1. 著者名 Tanaka Takahisa, Kato Taro, Yajima Takeaki, Uchida Ken	4. 巻 42
2. 論文標題 Atomistic Simulation Study of Impacts of Surface Carrier Scatterings on Carrier Transport in Pt Nanosheets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 1057 ~ 1060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2021.3077466	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 -
1. 著者名 Kato Taro, Tanaka Takahisa, Yajima Takeaki, Uchida Ken	4. 巻 60
2. 論文標題 Temperature dependence of resistivity increases induced by thiols adsorption in gold nanosheets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBH13 ~ SBBH13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abd6de	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 Toyoshima Ryo, Tanaka Takahisa, Kato Taro, Uchida Ken, Kondoh Hiroshi	4. 巻 56
2. 論文標題 In situ AP-XPS analysis of a Pt thin-film sensor for highly sensitive H2 detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 10147 ~ 10150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC04030D	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 -

1. 著者名 Tanaka Takahisa, Yajima Takeaki, Uchida Ken	4. 巻 59
2. 論文標題 Impact of defects in self-assembled monolayer on humidity sensing by molecular functionalized transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 S11E04 ~ S11E04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab80dc	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 Tanaka Takahisa, Yanagida Takeshi, Uchida Ken, Tabuchi Kenta, Tatehara Kohei, Shiiki Yohsuke, Nakagawa Shuya, Takahashi Tsunaki, Shimizu Ryota, Ishikuro Hiroki, Kuroda Tadahiro	4. 巻 66
2. 論文標題 Low-Power and ppm-Level Multimolecule Detection by Integration of Self-Heated Metal Nanosheet Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Electron Devices	6. 最初と最後の頁 5393 ~ 5398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TED.2019.2945932	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 Toyoshima Ryo, Tanaka Takahisa, Kato Taro, Uchida Ken, Kondoh Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Origin of the high selectivity of the Pt-Rh thin-film H2 gas sensor studied by operando ambient-pressure X-ray photoelectron spectroscopy at working conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 8546-8552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.2c02365	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 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 T. Tanaka, K. Uchida
2. 発表標題 Enhanced electron phonon scattering in Si nanowires covered by oxide
3. 学会等名 240th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hamanaka, T. Tanaka, K. Uchida
2. 発表標題 Selective Recognition of Acetone in Air Against Hydrogen By Impedance Measurement of Two-Terminal Electrochemical Sensors Based on Ionic Liquids
3. 学会等名 240th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Matsumura, T. Tanaka, K. Uchida
2. 発表標題 Experimental Investigation of Interface Defect Properties in PtOx/ZnO Schottky Diodes by Deep Level Transient Spectroscopy
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田建
2. 発表標題 社会課題解決を目指したナノ電子材料・デバイスにおける熱の課題と利用
3. 学会等名 日本伝熱学会創立60周年記念 第58回 日本伝熱シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤太郎, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 Auナノシートを用いた小型・低エネルギー硫化水素センサ
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 ナノスケール化学センサ集積に向けた局所熱制御と表面/界面設計
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田建, 田中貴久
2. 発表標題 低エネルギー・集積化分子認識センサ
3. 学会等名 2021年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中貴久, 田淵健太, 舘洞浩平, 椎木陽介, 中川修哉, 高橋綱己, 清水涼太, 石黒仁揮, 黒田忠広, 柳田剛, 内田建
2. 発表標題 自己ジュール加熱金属ナノシートアレイによる微量な多分子の低消費電力ガスセンシング
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱中悠輔, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 二端子間イオン液体のインピーダンス変化による低分子ガスの選択的認識
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅田竜生, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 IrOxナノシートによるCH4センサの作製
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮尾知寿, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 極低温(4K)におけるMOS容量評価手法の開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松村美貴也, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 PtOx/ZnO ショットキー接合の界面近傍におけるドナー濃度とその起源について
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Toyoshima, and H. Kondoh
2. 発表標題 In situ analysis of a Pt thin film H <sub>2</sub> gas sensor surface by AP-XPS
3. 学会等名 8th International Workshop on Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊島遼、近藤 寛
2. 発表標題 AP-XPSを活用した機能性材料表面のその場分析
3. 学会等名 NanospecFY2021mini 合同ミニコンファレンス (SPring-8ユーザー協同体顕微ナノ材料科学研究会 日本表面真空学会放射光表面科学研究部会 日本表面真空学会プローブ顕微鏡研究部会) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤 寛
2. 発表標題 X線その場計測で見る機能性表面
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 酸素吸着によるPt薄膜抵抗率変化の原子論的解析
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤太朗, 田中貴久, 内田建
2. 発表標題 Auナノシートを用いた硫化水素センサの創出
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Tanaka, T. Yajima, and K. Uchida
2. 発表標題 Modeling of Graphene Sensor Functionalized with Pt Nanoparticles by Molecular Dynamics and Grand Canonical Monte Carlo Simulations with Reactive Force Field
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kato, T. Tanaka, T. Yajima, and K. Uchida
2. 発表標題 Experimental Evidence for Temperature Dependence of Adsorbate-induced Scattering in Metal Nanosheets and Its Implication to Gas Sensing Applications
3. 学会等名 2020 > International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Tatehara, Y. Shiiki, S. Nakagawa, T. Tanaka, K. Uchida, and H. Ishikuro
2. 発表標題 A Wide Range and High Accuracy Sensor Interface with Switching Regulator for Coin-Cell Powered Tiny Wirelesss Sensor Node
3. 学会等名 IEEE ISCAS (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Uchida
2. 発表標題 Nanoscale Thermal Management for Low-energy Integrated Electronics in the Internet-of-Things Era
3. 学会等名 Nanotechnology for a Sustainable Future, Waterloo Institute for Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤太朗, 田中貴久, 矢嶋起彬, 内田建
2. 発表標題 金属ナノシートへの分子吸着による キャリア移動度変化の解析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内田建, 田中貴久
2. 発表標題 時間的・空間的に局在化したナノ熱による機能性電子デバイス の創製
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊島 遼, 田中 貴久, 加藤 太朗, 内田 建, 近藤 寛
2. 発表標題 In-situ AP-XPS を用いたPt 薄膜H <sub>2</sub> ガスセンサの分析
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川暁士、豊島 遼、田中貴久、阿部 仁、内田 建、近藤 寛
2. 発表標題 白金薄膜センサの/In Situ/XAFS分析
3. 学会等名 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤太郎、田中貴久、矢嶋起彬、内田建
2. 発表標題 金属ナノシートの電気抵抗に分子吸着が及ぼす影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊島遼、田中貴久、加藤太郎、内田建、近藤寛
2. 発表標題 高感度H2検知Pt薄膜センサのオペランドAP-XPS分析
3. 学会等名 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2020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
研究 分担者	近藤 寛  (Kondoh Hiroshi)  (80302800)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授   (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------