

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301  
研究種目：基盤研究(B) (一般)  
研究期間：2017～2020  
課題番号：17H03074  
研究課題名(和文) 1000万画素の高精細イメージングを実現する半導体化学センサプラットフォーム  
  
研究課題名(英文) Semiconductor-based chemical imaging sensor platform for realization of high-definition images of 10 megapixels  
  
研究代表者  
吉信 達夫 (Yoshinobu, Tatsuo)  
  
東北大学・医工学研究科・教授  
  
研究者番号：30243265  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,300,000円

研究成果の概要(和文)：半導体化学イメージセンサシステムの高画素数化に必要な、空間分解能の向上、測定時間の短縮、センサ基板の面積化を行った。空間分解能は、ハイブリッド照明を用いて半導体層内におけるフォトキャリアの拡散を抑制することにより向上した。測定時間は、複数のプローブ光を用いてデータを並列に読み出すことにより短縮した。センサ基板の面積化の影響を評価するため分布定数回路モデルを構築し、周波数、溶液の導電率、回路の直列抵抗など、さまざまなパラメータへの依存性を調べた。開発した化学イメージセンサシステムは、金属表面の腐食や微生物代謝の観察に応用した。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

化学イメージセンサは、試料をセンサ面に載せるだけの簡便な操作によって無機・有機・生物試料などさまざまな試料内のpHやイオン・分子の濃度分布を画像化することができる汎用的な測定プラットフォームであり、想定される応用範囲は非常に広い。本研究によって、化学イメージセンサの高画素数化に必要な、空間分解能の向上、測定時間の短縮、面積センサ基板使用のための指針が得られたことにより、試料の細部を高精細に観察することが可能になったため、電気化学、材料科学、生物学のさまざまな分野における化学物質の可視化ツールとしての有用性が向上したほか、微小流体デバイスとの複合による診断デバイスへの応用の可能性が広がった。

研究成果の概要(英文)：For realization of a high-definition chemical imaging sensor system, methods to improve the spatial resolution, to shorten the measurement time, and to use a large-area sensing plate were developed. The spatial resolution was improved by using a hybrid illumination that suppressed the lateral diffusion of photocarriers in the semiconductor layer. The measurement time was shortened by parallel readout of data using a plurality of light probes. A distributed-element model was constructed to evaluate the influence of a large-area sensing plate, and the dependence on various parameters such as the frequency, the conductivity of the solution, and the series resistance was investigated. The developed chemical imaging sensor system was applied to visualization of the corrosion process on a metal surface and the metabolism of microorganisms.

研究分野：センサ工学

キーワード：化学センサ LAPS 化学イメージセンサ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

半導体化学イメージセンサ[1-3]は、センサ面上に載せた試料内の pH 分布や特定のイオン・分子の濃度分布を画像化することができる半導体センサシステムであり、light-addressable potentiometric sensor (LAPS) [4]と呼ばれる半導体化学センサの原理を応用したものである。従来の化学センサは試料内の平均的な情報を取得するのみであるのに対し、化学イメージセンサはセンサ面上の各位置における局所的な pH やイオン・分子濃度を位置分解的に測定することができる。試料内の pH やイオン・分子濃度に依存してセンサ面との界面で発生する Nernst 電位が変化し、その電界効果によって半導体内部に生じる空乏層の厚みが変化する。空乏層が持つ静電容量の面内分布をセンサ裏面から照射するプローブ光によって生じる交流光電流の形で位置分解的に読み出すことにより化学画像を得ることができる。

半導体化学イメージセンサはさまざまな電気化学システムや生物試料等への応用が期待されるが、従来の化学イメージセンサシステムの実用的な画素数は数万～数十万画素程度であった。これは初期の STM や AFM と同等の数字であるが、試料細部の詳細な観察には画素数が不足していた。1000 万画素(10 メガピクセル)クラスの高精細画像が得られれば、視野の一部をズームした場合にも鮮明な画像が得られることになり、より幅広い分野の研究への活用が期待される。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、高精細画像が得られる化学イメージングシステムを実現し、各種試料のイメージングに使用できることを実証することである。高画素数化のためには空間分解能の向上が必要であるほか、実用的な時間内に多数の画素位置において測定を行うためには測定の高速度が必要であるが、測定の高速度は精度とトレードオフの関係にある。また、高速度のためにはプローブ光の変調周波数を上げる必要があるが、少数キャリアの拡散がローパスフィルタとして働くため高周波では信号電流が減少する。半導体層を薄くすれば高い変調周波数が使用でき、また空間分解能の向上も期待できるが、一方でセンサ基板の機械的強度が低下するという問題がある。このように、センサの各特性の間にはさまざまなトレードオフが存在するため、試料の態様やアプリケーションに応じて最適な組み合わせを検討する必要がある。

### 3. 研究の方法

化学イメージセンサによって高画素数の化学画像を取得するために解決すべき主な課題を以下のように設定した。

#### (1) 空間分解能の向上

半導体層を薄くすることによって空間分解能を向上できることは従来から知られており、さまざまな試みが行われているが、本研究ではコスト面で有利な通常の LAPS 基板を用いた場合にも空間分解能を向上することができる新たな方法として、次の 2 つの方法を試みた。

- ・変調光と定常光からなるハイブリッド照明による面内方向へのキャリア拡散の抑制
- ・光電流応答波形の時間分解的な解析による空間分解能の向上

#### (2) 複数のプローブ光による読み出しの高速度化

高画素数の画像を実用的な時間内に取得するためには、従来よりも高速にデータを読み出す必要がある。プローブ光の変調に使用できる周波数帯域に制限があることを踏まえ、複数のプローブ光による周波数多重化とスキャンの組み合わせによる高速化と高画素数化の両立について検討を行った。

#### (3) センサの大面积化の影響

センサの大面积化にともなって、試料溶液と半導体層の容量結合による交流光電流信号のロスが問題となる。この系を分布定数回路と考えてモデル化し、変調周波数や試料溶液の導電率などさまざまなパラメータを変化させた場合の影響について調べ、大面积センサの使用についての指針を得た。

#### (4) 化学イメージセンサシステムの応用

本研究で開発した化学イメージングシステムを、以下の例に示すようにさまざまな測定試料に適用した。

- ・ステンレス鋼表面の腐食・再不動態化に伴う pH 変化
- ・微生物の代謝による pH 変化
- ・微小流路内におけるイオンの拡散、液滴の pH 測定

## 4. 研究成果

### (1) 空間分解能の向上

化学イメージセンサは、図1のような試料溶液 - 絶縁層 - 半導体構造を持つ。センサ面上における pH 分布やイオン・分子の濃度分布を反映して半導体内に生じる空乏層容量の分布を読み出すために、一定の周波数で変調されたプローブ光でセンサ裏面を走査し、光吸収で生成されたフォトキャリアが空乏層内の電界で分離されることにより生じる交流光電流を各画素位置で記録する。このとき、フォトキャリアの面内方向への拡散によって空間分解能が制限を受けることがわかっている。したがって、半導体層に少数キャリアの拡散距離が短い材料を用いれば空間分解能が向上するが、その場合、裏面で生成されたフォトキャリアのうち空乏層に到達する割合が小さくなるため、センサ信号である交流光電流が減少して S/N 比が低下する。

そこで本研究では、変調光ビームの周りを定常光がドーナツ状に取り囲む形のプローブ光を開発した。この場合、変調光によって生成されたフォトキャリアの縦方向への拡散の経路は確保しつつ、周辺領域のキャリア密度上昇により再結合が増え、横方向へのキャリアの拡散をブロックする効果が期待できる。複数の光ファイバーを束ねたプローブ光源によりこの原理を実証した後、図2のように変調光ビームとドーナツ状の定常照明を混合する光学系を開発し、従来と同じセンサ基板を用いた場合にも 100  $\mu\text{m}$  以上の空間分解能が得られることを確認した[5]。

さらに、空間分解能を向上させる別の方法として、一定の周波数で変調された光ビームのかわりに、長さ 300 ns の光パルスをセンサ裏面に照射し、これに対する光電流応答波形を時間分解的に解析する手法を開発した。光パルス照射点直上の空乏層にフォトキャリアが到達する時刻に比べて、水平方向に離れた位置にフォトキャリアが到達する時刻は遅れるため、収録された過渡応答波形の最初の 2 ~ 10  $\mu\text{s}$  のデータのみを用いることにより、従来の方法に比べて 2.8 ~ 6.2 倍の空間分解能を得ることができた[6]。

### (2) 複数のプローブ光による読み出しの高速化

化学イメージセンサのセンサ基板は、それ自体には画素構造は無く、画素位置はプローブ光の照射位置によって定義される。したがって、原理的には画素数はいくらでも増やすことができるが、画素間隔が空間分解能より小さくなると隣接する画素で得られる情報の冗長性が增大することに加え、これらの画素を単一のプローブ光で逐次的に走査する場合には、画素数に比例して画像の取得時間が長くなるため実用性が低下する。

単一のプローブ光のかわりに、それぞれ異なる周波数で変調された複数のプローブ光でパラレルに読み出しを行うことにより、その多重度のみで測定を高速化することができる[7]。この場合、センサの光電流信号は各周波数の波形が重畳したものとなるため、これを周波数分離する必要がある。本研究では、チャンネル数の増加にスケラブルに対応するため FPGA を用いて各チャンネルの処理を並列に行った。FPGA と CPU, ADC, DAC が搭載されたシングルボードコンピュータを用い、CORDIC アルゴリズムによって各チャンネルの変調周波数の生成とデュアルフェーズロックイン検出をリアルタイムで並列に実行できるモジュールを FPGA で実現し、各種測定パラメータを設定するユーザインターフェースを備え、試料溶液内の pH 分布の動画表示をスタンドアロンで行うことができるポータブルな装置を開発した。

この設計では、FPGA の容量の範囲内でチャンネル数を自由に増やすことができるが、それと同時に必要な周波数帯域 (= 周波数間隔  $\times$  チャンネル数) が増加する。周波数とともに信号電流は小さくなるため、許容できる S/N 比によって実際に多重化できるチャンネル数が制限される。したがって、高画素数の画像を取得するための現実的なアプローチは、複数のプローブ光の配列によってセンサ基板をスキャンすることであり、アプリケーションに応じて多重度とスキャン点数の最適な組み合わせを選択することになる。

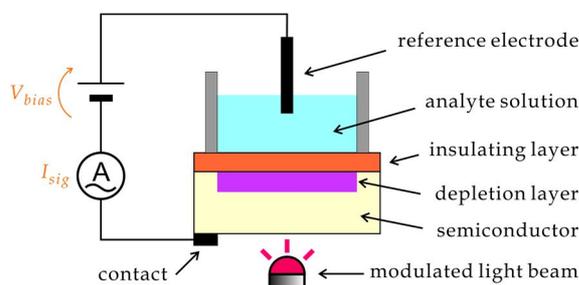


図1 センサの構造

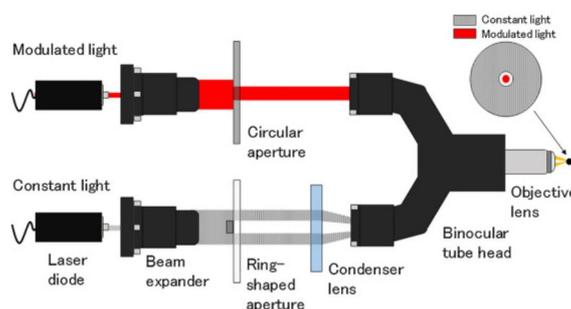


図2 変調光と定常光を組み合わせたプローブ光源による空間分解能の向上[5]

### (3) センサの大面积化の影響

光照射部の空乏層で発生した交流光電流は絶縁層の静電容量を介して溶液に流れ対極で回収されるが、溶液と半導体層は絶縁層を介して容量結合しているため、一部の電流が半導体層に戻り、その分だけ交流光電流信号が減少してしまうことが指摘されていた[8]。溶液 - 半導体間の静電容量は面積に比例するため、センサの大面积化に伴ってその影響が大きくなることは明らかであるが、センサ面積、周波数、溶液の導電率、回路の直列抵抗などのさまざまなパラメータに依存して、具体的にどの程度の影響があるのかはこれまでよくわかっていなかった。そこで本研究では直径 5 インチのシリコンウェハをまるごと使用したセンサ基板を作製し、溶液との接触面積を変化させた実験を行って影響を調べるとともに、この系を分布定数回路としてモデル化し、さまざまなパラメータに対して数値計算を行ったところ、結果は実験とよく一致した[9]。計算結果の一部を図 3 に示す。さらにこの効果は局所的な pH 値の変化に対する感度にも影響を与えることがわかり、大面积センサの使用に関する指針を得ることができた。

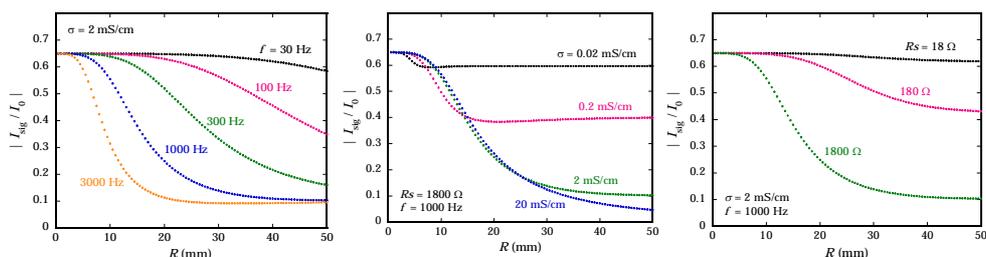


図 3 センサの半径による交流光電流信号の大きさの変化(周波数・溶液の導電率・回路の直列抵抗をパラメータとして計算した結果) [9]

### (4) 化学イメージセンサシステムの応用

化学イメージセンサシステムを実際にさまざまな試料に適用する研究を実施した。一例として、ステンレス鋼表面のすきま腐食にともなう pH 変化の測定を行った。ステンレス鋼は優れた耐食性を有する合金であるが、表面がマイクロレベルの狭い隙間内に置かれると腐食が急速に進展することが知られている。そこでステンレス鋼表面と化学イメージセンサのセンサ面を対向させ、隙間に人工海水を満たした状態で分極を行い、腐食の発生・進展・再不動態化に伴う pH 変化を詳細に解析した[10]。測定結果の一例を図 4 に示す。この実験のために開発した、化学イメージセンサの測定回路とポテンショスタットを複合した回路は、試料電位の制御が必要なさまざまな電気化学システムの解析に応用することができる。

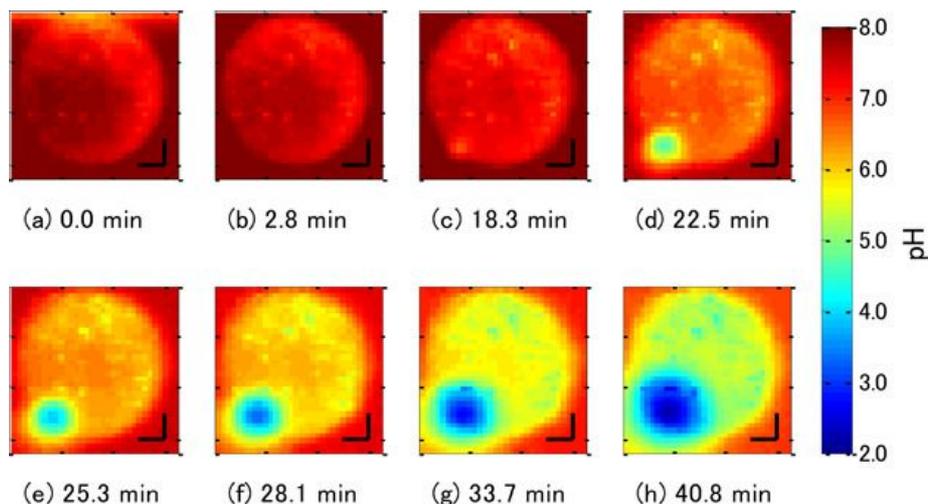


図 4 ステンレス鋼のすき間腐食にともなう pH 変化のその場観察[10]

この応用例のほか、化学イメージセンサは、生分解性ポリマー、土壌、微生物、細胞層、ガス、微小流体デバイスとの複合など、さまざまな試料に応用可能であることを実証した。

<引用文献>

1. M. Nakao, T. Yoshinobu and H. Iwasaki, "Scanning-laser-beam semiconductor pH-imaging sensor", *Sensors and Actuators B*, 20 (1994) pp.119–123.
2. T. Yoshinobu, K. Miyamoto, T. Wagner and M. J. Schöning, "Recent developments of chemical imaging sensor systems based on the principle of the light-addressable potentiometric sensor", *Sensors and Actuators B*, 207 (2015) pp.926–932.
3. T. Yoshinobu, K. Miyamoto, C. F. Werner, A. Poghossian, T. Wagner and M. J. Schöning, "Light-addressable potentiometric sensors for quantitative spatial imaging of chemical species", *Annual Review of Analytical Chemistry*, 10 (2017) pp.225–246.
4. D. G. Hafeman, J. W. Parce, H. M. McConnell, "Light-addressable potentiometric sensor for biochemical systems", *Science* 240 (1988) pp.1182–85.
5. K. Miyamoto, K. Seki, T. Suto, C. F. Werner, T. Wagner, M. J. Schöning and T. Yoshinobu, "Improved spatial resolution of the chemical imaging sensor with a hybrid illumination that suppresses lateral diffusion of photocarriers", *Sensors and Actuators B*, 273 (2018) pp.1328–1333.
6. C. F. Werner, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schöning and T. Yoshinobu, "Lateral resolution enhancement of pulse-driven light-addressable potentiometric sensor", *Sensors and Actuators B*, 248 (2017) pp.961–965.
7. Q. Zhang, P. Wang, W. J. Parak, M. George, G. Zhang, "A novel design of multi-light LAPS based on digital compensation of frequency domain", *Sensors and Actuators B*, 73 (2001) pp.152–156.
8. A. Poghossian, C. F. Werner, V. V. Buniatyan, T. Wagner, K. Miyamoto, T. Yoshinobu, M. J. Schöning, "Towards addressability of light-addressable potentiometric sensors: shunting effect of non-illuminated region and cross-talk", *Sensors and Actuators B*, 244 (2017) pp.1071–1079.
9. T. Yoshinobu, D. Sato, Y. Guo, C. F. Werner and K. Miyamoto, "Modeling of the return current in a light-addressable potentiometric sensor", *Sensors*, 19 (2019) article no. 4566.
10. K. Miyamoto, S. Sakakita, C. F. Werner and T. Yoshinobu, "A modified chemical imaging sensor system for real-time pH imaging of accelerated crevice corrosion of stainless steel", *physica status solidi A*, 215 (2018) article no. 1700963.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nose Kiyomi, Miyamoto Ko-ichiro, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 20
2. 論文標題 Estimation of Potential Distribution during Crevice Corrosion through Analysis of I?V Curves Obtained by LAPS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2873 ~ 2873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20102873	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 Guo Yuanyuan, Werner Carl Frederik, Handa Shoma, Wang Mengyun, Ohshiro Tomokazu, Mushiake Hajime, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 174
2. 論文標題 Miniature multiplexed label-free pH probe in vivo	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biosensors and Bioelectronics	6. 最初と最後の頁 112870 ~ 112870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bios.2020.112870	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 Yoshinobu Tatsuo, Schoening Michael J.	4. 巻 28
2. 論文標題 Light-addressable potentiometric sensors for cell monitoring and biosensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Opinion in Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 100727 ~ 100727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coelec.2021.100727	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 野瀬清美、松橋亮、梶村治彦、宮本浩一郎、吉信達夫	4. 巻 70
2. 論文標題 SUS304のすきま内pHと金属溶解速度に基づく再不動態化過程の考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 材料と環境	6. 最初と最後の頁 131-139
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 -

1. 著者名 K. Miyamoto, M. Kaneko, M. Wang, C. F. Werner, T. Yoshinobu	4. 巻 61
2. 論文標題 Detection of Hydrogen Permeation through Pure Iron with a Semiconductor-based Chemical Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	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) なし	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 Miyamoto Ko-ichiro, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 58
2. 論文標題 Sensors and techniques for visualization and characterization of local corrosion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB0801 ~ SB0801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab01da	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 Yoshinobu Tatsuo, Sato Daisuke, Guo Yuanyuan, Werner Carl Frederik, Miyamoto Ko-ichiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Modeling of the Return Current in a Light-Addressable Potentiometric Sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4566 ~ 4566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19204566	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 野瀬清美、梶村治彦、宮本浩一郎、吉信達夫	4. 巻 69
2. 論文標題 半導体化学センサで測定したステンレス鋼のすきま内pHとすきま腐食挙動との関係	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料と環境	6. 最初と最後の頁 40-48
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 -

1. 著者名 Guo Yuanyuan, Werner Carl F., Canales Andres, Yu Li, Jia Xiaoting, Anikeeva Polina, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 15
2. 論文標題 Polymer-fiber-coupled field-effect sensors for label-free deep brain recordings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0228076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0228076	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 該当する

1. 著者名 Miyamoto Ko-ichiro, Sakakita Sakura, Werner Carl Frederik, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 215
2. 論文標題 A Modified Chemical Imaging Sensor System for Real-Time pH Imaging of Accelerated Crevice Corrosion of Stainless Steel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1700963 ~ 1700963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201700963	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 Miyamoto Ko-ichiro, Seki Kosuke, Suto Takeyuki, Werner Carl Frederik, Wagner Torsten, Schoening Michael J., Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 273
2. 論文標題 Improved spatial resolution of the chemical imaging sensor with a hybrid illumination that suppresses lateral diffusion of photocarriers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 1328 ~ 1333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2018.07.016	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 Truong Hoang Anh, Werner Carl Frederik, Miyamoto Ko ichiro, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 216
2. 論文標題 Multi Well Sensor Platform Based on a Partially Etched Structure of a Light Addressable Potentiometric Sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1800764 ~ 1800764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201800764	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 Wang Mengyun, Truong Hoang A., Werner Carl F., Miyamoto Ko ichiro, Yoshinobu Tatsuo	4. 巻 216
2. 論文標題 A Gas Sensitive SPIM Sensor for Detection of Ethanol Using SnO2 as Sensing Element	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1800766 ~ 1800766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201800766	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32件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 M. Wang, H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Imaging Detection of Ethanol Vapor by Scanning Photo-induced Impedance Microscopy with Suspended-gate Structure
3. 学会等名 18th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 In situ Observation of Crevice Corrosion by a Modified Chemical Imaging Sensor System
3. 学会等名 8th Kurt Schwabe Symposium (jointly organized with RSE-SEE 7) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. F. Werner, S. Aoki, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Scanning Photo-induced Impedance Microscopy to Characterize Biodegradable Polymers
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (M&BE10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Wang, H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 SPIM Gas Sensor Equipped with a Ti/Au Thin-film Micro-heater
3. 学会等名 12th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. F. Werner, S. Taharima, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Real-time Monitoring of Ion Concentration Distributions with LAPS
3. 学会等名 12th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. F. Werner, D. Sato, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2. 発表標題 pH Change in Rhizosphere Measured by a LAPS
3. 学会等名 12th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本浩一郎, 佐藤大介, WERNER Frederik, 吉信達夫
2. 発表標題 大面積化学イメージセンサシステムの構築と植物根圏pHの観察
3. 学会等名 第66回化学センサ研究発表会(2019年電気化学秋季大会シンポジウム)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Guo, S. Handa, C. F. Werner, K. Miyamoto, P. Anikeeva and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Biochemical Sensors Coupled with Multifunctional Fibers for Label-free Imaging in the Brain and Beyond
3. 学会等名 13th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Miyamoto, D. Suzuki, C. F. Werner and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Impedance Mapping of Cell Layer Cultured on Field-Effect Chemical Sensor
3. 学会等名 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本浩一郎
2. 発表標題 半導体化学センサによるイメージング法と応用
3. 学会等名 電気化学会東北支部第50回セミコンファレンス/第32回東北若手の会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. A. Truong, K. Miyamoto, C. F. Werner and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Multi-well Sensor Platform Based on a Partially Etched Structure of Light-addressable Potentiometric Sensor
3. 学会等名 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Miyamoto, D. Suzuki, S. Uno, C. F. Werner, Y. Yanase and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 Visualization of the Barrier Function of an Epithelial Cell Layer by Chemical Imaging Sensor and its Future Application
3 . 学会等名 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Wang, K. Miyamoto, H. A. Truong, C. F. Werner and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 Gas-imaging Sensor Based on Metal Oxide and Field Effect Structure
3 . 学会等名 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 C. F. Werner, K. Miyamoto, M. J. Schoening, T. Wagner and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 Effect of Light Intensity towards the Signal of a Light-addressable Potentiometric Sensor
3 . 学会等名 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Wang, H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 A Gas-sensitive SPIM Sensor for Detection of Ethanol Using SnO <sub>2</sub> as Sensing Element
3 . 学会等名 11th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 C. F. Werner, S. Aoki, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 Characterization of Biodegradable Polymers with Scanning Photo-induced Impedance Microscopy
3 . 学会等名 11th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Miyamoto, S. Naito, C. F. Werner. S. Uno and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 pH Imaging of Ion Diffusion at Laminar Flow Interface and Estimation of Diffusion Coefficients
3 . 学会等名 17th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 C. F. Werner, S. Kawashima, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 Microwell-based Microfluidic Device to Estimate the Living Cell Concentration
3 . 学会等名 6th International Symposium on Sensor Science (ISS 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2 . 発表標題 A Chemical Imaging Sensor with Multi-well Structure for High-throughput Analysis
3 . 学会等名 6th International Symposium on Sensor Science (ISS 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Miyamoto, D. Suzuki, C. F. Werner and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Impedance Mapping of a Defect in a Cell Layer Cultured Directly on a Chemical Imaging Sensor
3. 学会等名 Electrochemical Micro & Nano System Technologies 2018 (EMNT 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Applications of Chemical Imaging Sensor in the Field of Electrochemistry
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本浩一郎, 平光凜也, 榊田さくら, C. F. Werner, 吉信達夫
2. 発表標題 隙間腐食に伴うpH変化と表面形態変化の同時観察
3. 学会等名 腐食防食学会 材料と環境2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木大輔, Frederik Werner, 宮本浩一郎, 吉信達夫
2. 発表標題 化学イメージセンサを用いた細胞層創傷の経時変化観察
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鐘水大和, Frederik Werner, 宮本浩一郎, 吉信達夫
2. 発表標題 化学イメージセンサ表面の疎水・親水パターンニングによる自発的液滴形成
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤大介, Frederik Werner, 宮本浩一郎, 吉信達夫
2. 発表標題 大面積化学イメージセンサの開発と評価
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王孟云, チューン ホアンアン, フレデリック ヴェルナー, 宮本浩一郎, 吉信達夫
2. 発表標題 A Gas-Sensitive SPIM Sensor with Suspended Gate for Detection of Ethanol Vapor Using SnO <sub>2</sub> as Sensing Element
3. 学会等名 第64回化学センサ研究発表会(2018年電気化学秋季大会シンポジウム)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Applications of a Chemical Imaging Sensor to Micro-volume Samples
3. 学会等名 Engineering of Functional Interfaces 2017 (EnFI2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 A Partially Etched Structure of Light-addressable Potentiometric Sensor for High-resolution and High-speed Chemical Imaging
3. 学会等名 Engineering of Functional Interfaces 2017 (EnFI2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 C. F. Werner, K. Miyamoto, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Lateral Resolution of a Light-addressable Sensor with Regard to Modulation Frequency and Light Intensity
3. 学会等名 Engineering of Functional Interfaces 2017 (EnFI2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Suto, K. Miyamoto, C. F. Werner, T. Wagner, M. J. Schoening and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Restraining the Diffusion of Photocarriers to Improve the Spatial Resolution of the Chemical Imaging Sensor
3. 学会等名 Eurosensors 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. A. Truong, C. F. Werner, K. Miyamoto and T. Yoshinobu
2. 発表標題 Multi-sample pH Sensor Based on Chemical Imaging Sensor with a Partially Etched Structure
3. 学会等名 第78会応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yoshinobu
2. 発表標題 On the Possibility of LAPS as a Sensing Element in Microfluidic Devices
3. 学会等名 12th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS2017) (招待講演) (国際学会)
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
研究分担者	宮本 浩一郎  (Miyamoto Koichiro)  (70447142)	東北大学・工学研究科・准教授   (11301)	
研究分担者	WERNER Frederik  (Werner Frederik)  (90791434)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・助教   (14303)	

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		
ドイツ	アーヘン応用科学大学		