

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06472

研究課題名(和文)集積型ヘルスケアチップ実現に向けた溶液ゲートタイプのグルコースセンサーの開発

研究課題名(英文)Development of enzyme-immobilized FET-type glucose sensors toward the integrated biochips

研究代表者

小池 一歩 (KOIKE, Kazuto)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：40351457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：我々は長時間連続使用できる耐久性の高い拡張ゲート電界効果トランジスタ(EGFET)タイプのグルコースセンサーを試作した。TiO₂/Ti拡張ゲート電極表面にスピンコート法で酵素を含む絹フィブロイン膜を成膜し、続けて不溶化処理を行った。基板と酵素膜との結合を強くするため、両者の間にアミノシラン単分子層を挿入した。試作したセンサーは0.002～0.2 mg/mLのグルコース濃度範囲で繰り返し、かつ、連続使用可能であり、ヘルスケア用途での低侵襲ウェアラブルセンサーに有用である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

FETタイプのグルコースセンサーは、被検液中でゲート電極表面の吸着電荷を直接検出するため、長時間の連続使用や多機能センサーのワンチップ化に有利である。研究代表者らは、生体適合性の高い絹フィブロインを用いて拡張ゲート表面に酵素を強固に固定化する技術を開発した。試作したセンサーは、汗や涙に含まれる低いグルコース濃度を検出できる感度を有し、1か月以上にわたって繰り返し測定が可能であった。絹フィブロインで包摂する酵素の種類を変えることで、グルコース以外の健康指標マーカーを検出することも可能で、体液に含まれる健康指標マーカーを長時間連続モニタリングするためのウェアラブルセンサーの実現に有用な知見を与えた。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in developing stable and long-term operation of an extended-gate field effect transistor (EGFET)-type glucose sensor using a silk-fibroin film for the immobilization membrane of glucose oxidase. The enzyme membrane was formed on a TiO₂/Ti extended gate substrate using a spin coating method followed by an insolubilization treatment. An amino-silane monolayer was inserted between the substrate and the enzyme membrane to improve the bond strength between them. A prototype sensor was able to detect glucose reversibly and repeatedly the glucose in the range of 0.002 - 0.2 mg/mL and suitable for wearable minimally-invasive glucose monitoring for personal and point-of-care use.

研究分野：結晶成長とデバイス応用

キーワード：グルコースセンサー FETタイプ 連続モニタリング 絹フィブロイン 酵素固定化技術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究課題は、集積型ヘルスケアチップのプラットフォームを実現するため電界効果トランジスタ(FET)タイプのグルコースセンサーを開発することである。これまで市販されているグルコースセンサーは、血液中のグルコースを電極法(酵素反応で生じた過酸化水素を電極表面で電気分解して電流検出する方法)で検出するタイプがほとんどで、繰り返し使用や長時間の連続モニタリングに不向きであった。

本研究で目指すグルコースセンサーは、酵素を固定化したゲート表面で酵素反応によって生成されたプロトンを検出するタイプである。このタイプは、被検液中でゲート電極表面の吸着電荷を直接検出するため、長時間の連続使用に向いている。また、集積化に有利なFETの特徴を生かすことで、多機能センサーをワンチップに搭載することも可能である。これまで、いくつかの研究機関がFETタイプのバイオセンサーを開発しており、高感度で、かつ、耐久性の高いグルコースセンサーの実用化が待たれている。

研究代表者らは、本研究課題に着手するまでに、溶液ゲートFETタイプ(ゲート絶縁膜を被検液に晒す構成)のグルコースセンサーの研究を行っていた、作製したセンサーの感度が低い、測定中に酵素が剥離するため長時間連続使用できない、という問題を抱えていた。そのため当初は、ボトムコンタクト構造を採用し、被検液と接するゲート表面全域に酵素を固定化する構造に変更し、かつ、その表面に酵素を3次元的、かつ、強固に固定化する技術を開発することで、課題を克服しようと考えた。

2. 研究の目的

本研究を着手してまもなく、より実用的な拡張ゲートFET(EGFET)タイプのグルコースセンサーに注目した。EGFETタイプは、絶縁ゲートに酵素を固定化した電極を接続し、酵素反応で生成されるプロトンの吸着電荷を検出する仕様である。このため、被検液中での電気分解反応が不要で、グルコースを繰り返し、連続して検出する用途に適している。拡張ゲート電極表面へより多くの酵素を固定化するため、生体適合性の高い絹フィブロインを酵素包括担体として使用した。また、酵素を含む絹フィブロイン膜の成膜条件を最適化するとともに、拡張電極表面へ強固に固定化する方法を検討することで、高感度、かつ、連続使用可能な耐久性の高いグルコースセンサーの実現を目指した。

3. 研究の方法

絹フィブロイン膜の作製

絹フィブロインは、絹糸に含まれるタンパク質の一種で、生体適合性、吸水性、密着性に優れることから、スキンケア材料として利用されている。また、人体に無害で動脈硬化や血圧上昇を抑制する作用もあるため、医薬品や食品にも利用されている。絹フィブロインは、酵素を構成するアミノ酸と共有結合が可能であるため、毒性のあるグルタルアルデヒドなどの架橋剤を用いず酵素を包括固定できる特徴を有する。EGFETの拡張ゲート電極に酵素を含む絹フィブロイン膜を強固に固定化できれば、耐久性の高いグルコースセンサーが実現する可能性がある。

我々は、絹フィブロイン膜の形成に、簡便に膜厚を制御して均一な膜を形成できるスピコート法を適用した。ここでは、絹フィブロインの試薬として、(株)松田養蚕場より供与されたナノフィブロインパウダーを使用した。本試薬は家蚕絹糸からセリシンを除去して抽出した高純度のフィブロインパウダーであり、家蚕の生体から直接抽出したフィブロイン溶液と異なり、幅広い範囲で濃度を容易に調整できる利点がある。まず、この試薬を超純水に溶かしてフィブロイン水溶液を作製した。次に、UVオゾンクリーナーで親水化処理を施したイーグルXGガラス基板表面にフィブロイン水溶液を滴下し、6000rpmの回転速度で60秒間スピコートした。図1に、絹フィブロインの濃度と自然乾燥後の膜厚の関係を示す。実験では、それぞれの濃度で4枚ずつ試料を作製し、膜厚の平均値をプロットした。エラーバーは、ばらつきの範囲を表す。絹フィブロイン水溶液の濃度の増加に伴って膜厚が増加していることが読み取れる。次に、絹フィブロイン水溶液の濃度を30wt%に固定し、回転速度を2000~7000rpmの範囲で絹フィブロイン膜を作製した。図2に回転速度と膜厚の関係を示す。回転速度の増加に伴って膜厚が減少していることが読み取れる。このことから、絹フィブロインの濃度やスピコート時の回転速度を調整することで、ある程度膜厚を制御できることが判った。

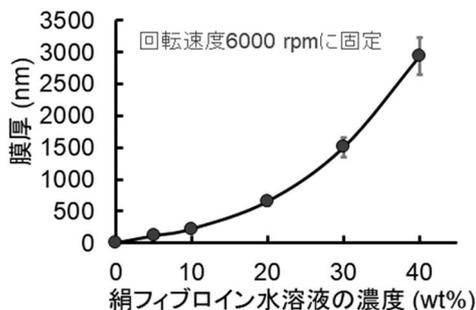


図1 絹フィブロイン水溶液の濃度と膜厚の関係

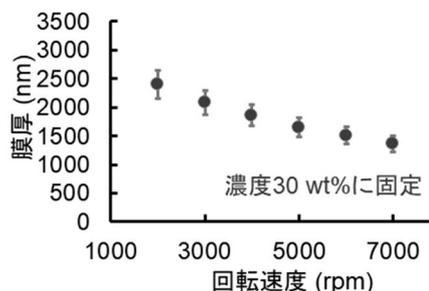


図2 スピコート回転速度と膜厚の関係

絹フィブロインは水に可溶であるため、酵素固定化膜として使用する場合は、膜の不溶化が必要である。膜の不溶化には、アルコール処理、熱処理、凍結乾燥、延伸などの方法がある。今回我々は、短時間で簡便に不溶化できるアルコール処理法を採用した。アルコールは絹フィブロインに含まれる親水性の側鎖を脱水する作用と、絹フィブロインを結晶化させる作用がある。通常、メタノールやエタノールなど、親水性の低級アルコールを用いて不溶化が行われている。本実験では、30 wt%の絹フィブロイン水溶液を用いて 6000 rpm の回転速度でスピコートした、厚さ 1.5 μm のフィブロイン膜を何枚か用意した。これらの試料を 70 ~ 100 vol% のエタノール水溶液に 1 h 浸漬し、取り出した後、十分に水洗して不溶化後の膜厚を調べた。その結果、濃度 75 vol% 以下では目視で膜がまばらに残っている状態であり、濃度 95 vol% 以上では膜が不溶化されず水洗によって膜が溶け出していることが明らかになった。一方、濃度 75 ~ 90 vol% の間では、不溶化された膜が得られ、特に 80 vol% で膜厚の減少が最も少なかった。以上のことから、以降の実験はこの不溶化条件を適用した。

グルコースセンサーの作製

図 3 にグルコースセンサーの測定セットアップを示す。市販の N チャネル MOSFET のゲート端子に、絹フィブロインで酵素を固定化した拡張ゲート基板を接続して EGFET を構成した。拡張ゲート表面の電位変化を検出するために市販の Ag/AgCl 参照電極を基準電極として用い、その電極をドレイン端子と接続した。次に、DC ソースメーターを用いてソース電流を 100 μA 一定に保ち、ドレイン電流が飽和する正の電圧領域に動作点を設定した。ここで、被検液の溶媒としてリン酸緩衝液 PBS (100 mM, pH 7.4) を用いた。

4. 研究成果

絹フィブロインは random coil, α -helix, β -sheet など多様な構造を有するタンパク質である。ここで、random coil 構造は無秩序に配向した構造で、 α -helix 構造と β -sheet 構造はシート状に配向した 2 次構造である。 α -helix 構造は同一ペプチド鎖中で水素結合を形成することで 3.6 アミノ酸残基ごとに 1 回転する螺旋構造をとり、 β -sheet 構造は隣り合ったペプチド鎖間で水素結合が形成されたシート状の構造をとる。一般に、ペプチド鎖の全長にわたって α -helix 構造のみあるいは β -sheet のみが形成されることはなく、また、random coil 構造が α -helix 構造と β -sheet 構造をつなぐ部分として機能している場合が多い。このことから、タンパク質はこれらの構造同士が結合して立体的な構造になっている。

そこで我々は、不溶化前後の絹フィブロイン膜に対して構造に由来する赤外吸収を調べた。ただし、ガラスやサファイアなど透明な基板を用いると絹フィブロイン膜の吸収信号が極端に弱くなるため、数 nm の TiO_2 熱酸化膜を形成した Ti 板を基板として用いた。図 4 にフーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) で測定した不溶化前後のスペクトルを示す。1650, 1540 cm^{-1} 付近に見られる吸収帯はそれぞれアミドバンド I, II と呼ばれるタンパク質特有の吸収帯である。表 1 にアミドバンドの吸収波数とタンパク質の構造の関係を示す。アミドバンド I はペプチド結合における C=O の伸縮振動、アミドバンド II は N-H 変角振動と C-N 伸縮振動を起源とする。アミドバンドはタンパク質の水素結合の状態によって吸収ピークの波数が変化することが知られており、2 次構造を解析するための重要な指標となる。これらの吸収ピークより、不溶化前は random coil 構造または α -helix 構造が支配的であることが判った。一方、不溶化後はこれらのピークが低波数側にシフトして先鋭化したことから、 β -sheet 構造が支配的になっていることが明らかになった。

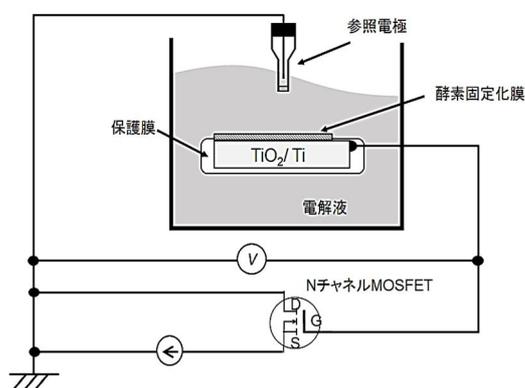


図 3 センサーの測定セットアップ

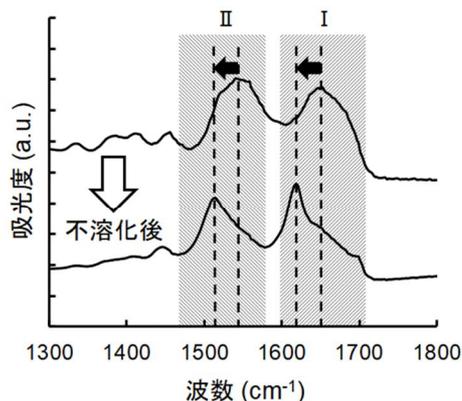


図 4 不溶化前後の吸収スペクトル

表1 アミドバンドの吸収波数とタンパク質の構造

アミドバンド	波数 (cm ⁻¹)	構造
アミドバンド I C=O (伸縮)	1650	random-coil, α -helix
	1620	β -sheet
アミドバンド II N-H (変角) C-N (伸縮)	1540	random-coil, α -helix
	1510	β -sheet

さらに我々は、不溶化後の絹フィブロイン膜に対して、電子顕微鏡(SEM)で表面を観察した。図5にSEM像を示す。膜表面に直径1 μ m以下の細孔が多数発生していることが明らかになった。このような多孔質構造は、不溶化処理中に水溶性成分の溶出と構造転移による結晶化が同時に進行して形成されたと考えられ、被検液と接触する比表面を大きくできる点で、酵素の包括担体として好都合である。

次に、作製したグルコースセンサーの特性を調べた。図6にグルコース濃度と出力電圧変化の関係を示す。この結果より、ミカエリス定数 K_m^{app} は 0.02 mg/mL、検出可能範囲は 0.002 ~ 0.2 mg/mL と見積られた。この範囲は、図中に示すように唾液や汗に含まれる低いグルコース濃度に対応しており、現在市販されている電極タイプのグルコースセンサーと比較すると1桁以上感度が高かった。

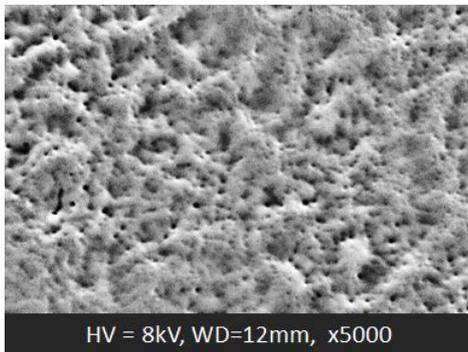


図5 不溶化後の絹フィブロイン膜のSEM像

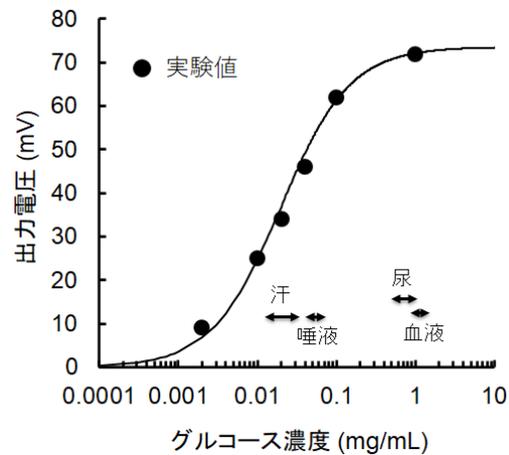


図6 グルコース濃度と出力電圧の関係

さらに、試作したセンサーを1か月以上にわたって繰り返し測定を行い、耐久性を評価した。図7にグルコース濃度1 mg/mLに対する試作センサーの応答感度を経過日数ごとにプロットした結果を示す。感度は1か月以上にわたって保持されており、そのばらつきも20%以内に収まっていた。このことから、TiO₂/Ti 拡張ゲート表面への絹フィブロインを用いた酵素の固定化が、センサーの安定動作に有効であることが示された。

センサーを繰り返し使用する場合、毎回、拡張ゲート電極ごと水洗しているが、被検液に体液を用いる場合は滅菌・殺菌処理が必要である。絹フィブロインの不溶化処理に消毒や殺菌性の高いエタノール水溶液を用いているが、不溶化後に繰り返しエタノール水溶液に浸漬しても酵素活性が低下しないことは実証済みである。アルコール処理と加熱処理を併用することで、より効果的に滅菌・殺菌できる。例えば、腸炎菌やサルモネラ菌などほとんどの菌は、60以上の加熱によって死滅することが判っている。そこで、拡張ゲート電極部を60に保った恒温槽に入れて加熱処理を施し、センサーの耐熱性を調べた。図8に60での加熱時間とセンサーの感度(1 mg/mLのグルコースに対する感度)の関係を示す。その結果、加熱時間10分まではセンサーの感度が保たれ、加熱時間15分で感度が70%まで低下することが判った。このことから、アルコール処理と60加熱処理を併用できる可能性が示された。

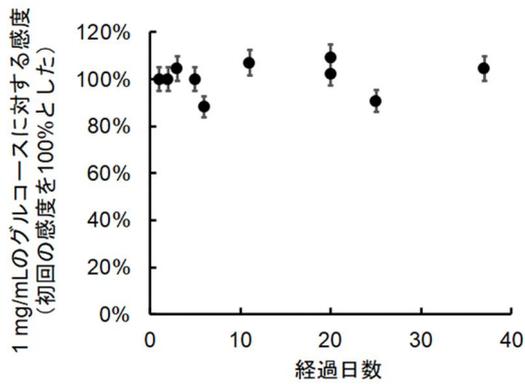


図6 繰り返しセンサーを使用した場合の経過日数に対するセンサーの感度変化

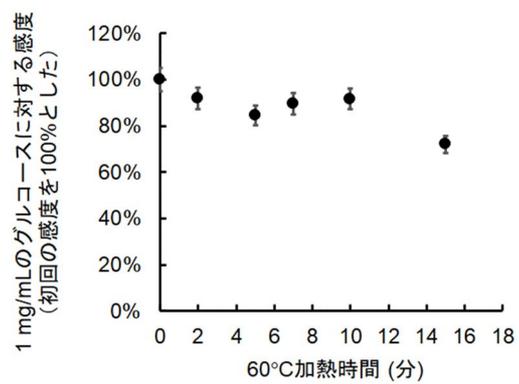


図7 酵素を固定化した電極の60°C加熱時間に対するセンサーの感度変化

まとめ

本研究では、集積型ヘルスケアチップのプラットフォームを実現するため、酵素を固定化したEGFETタイプのグルコースセンサーの開発を行った。拡張ゲート電極へ酵素を3次元的に固定化する目的で生体適合性の高い絹フィブロインを包括担体として採用した。酵素膜を強固に固定化する目的で電極表面と酵素膜の間に長鎖アミノシラン単分子膜を挿入した。試作したセンサーは、汗や涙に含まれる低いグルコース濃度を検出できる感度を有し、かつ、1か月以上にわたって繰り返し測定が可能であった。また、殺菌に必要なアルコール処理や60・10分の加熱処理を行ってもセンサーの感度が保たれることを明らかにした。

絹フィブロインで包括する酵素の種類を変えることで、グルコース以外の健康指標マーカに対応するバイオセンサーを作製することが可能である。実際に、ウレアーゼを絹フィブロインで包括固定した酵素膜に置き換えたところ、尿素センサーとして機能することを確かめている。以上のことから、本研究課題の目的は概ね達成できたといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kazuto Koike, Koudai Ike, Yusuke Onishi, Taihou Sasaki, Yuichi Hirofuji, Mitsuaki Yano	4. 巻 68
2. 論文標題 Fabrication and Characterization of Silk Fibroin Films by a Spin-Coating Method Toward the Application to Field-Effect Transistor-Based Biosensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 751 ~ 756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.751	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 Masatoshi Koyama, Toyokazu Kaneko, Sodai Fujiwara, Toshihiko Maemoto, Shigehiko Sasa	4. 巻 CSW 2019
2. 論文標題 The thermal stability of α -Ga ₂ O ₃ thin films grown on (111) 3C-SiC template substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 TuP-SS1-10(2pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIPRM.2019.8819218	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 Kazuto Koike, Yusuke Onishi, Kodai Ike, Yuichi Hirofuji, Yoshinobu Nakamura, Mitsuaki Yano	4. 巻 139
2. 論文標題 Glucose Detection Characteristics of an Extended-Gate Field-Effect Transistor Fabricated by the Enzyme Immobilization Using a Long-Chain-Aminosilane Agent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 143 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.143	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 Mitsuaki Yano, Tomoya Iwata, Satoshi Murakami, Ryouma Kamei, Taichi Inoue, Kazuto Koike	4. 巻 2-13
2. 論文標題 Gas sensing characteristics of a WO ₃ thin film prepared by a sol-gel method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings	6. 最初と最後の頁 723-1 - 723-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/proceedings2130723	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 H. Mito, R. Nakamura, K. Koike, S. Sasa, M. Yano, S. Kobayashi, K. Inaba	4. 巻 IMFEDK 2018
2. 論文標題 High-mobility single-crystalline WO ₃ epitaxial films grown on LSAT substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 46 - 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IMFEDK.2018.8581977	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 岩田 知也, 村上 聡, 亀井 龍真, 小池 一步, 大松 繁, 矢野 満明	4. 巻 30am3-PS-51
2. 論文標題 塗布熱分解法で成膜したWO ₃ のNOガス検出特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 1~5
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 大西勇輔, 池 広大, 小山真由子, 広藤裕一, 中村吉伸, 小池一步, 矢野満明	4. 巻 30am3-PS-63
2. 論文標題 長鎖アミノシランを用いて酵素を固定化した拡張ゲート電界効果トランジスタのグルコース検出特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 1~6
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 Mitsuaki Yano, Wataru Kuwagata, Hiroki Mito, Kazuto Koike, Shintaro Kobayashi, Katsuhiko Inaba	4. 巻 57
2. 論文標題 Electrochromic properties of epitaxial WO ₃ thin films grown on sapphire substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 100309, 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.57.100309	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 小池一步, 村上聡, 岩田知也, 亀井龍真, 矢野満明	4. 巻 67-9
2. 論文標題 ゾルゲル法を用いた三酸化タングステン薄膜の作製と評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 849 ~ 853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2472/jsms.67.853	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 W. Kuwagata, H. Mito, S. Murakami, K. Koike, Y. Harada, S. Sasa, M. Yano	4. 巻 IMFEDK2017
2. 論文標題 Protonation-Induced Change on Optical, Electrical, and Structural Properties of Epitaxial WO ₃ Films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 58 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IMFEDK.2017.7998041	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33件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 藤原壮太, 金子豊和, 小山政俊, 前元利彦, 佐々誠彦
2. 発表標題 ミスTCVD法による 3C-SiC(111)テンプレート基板上への -Ga ₂ O ₃ 薄膜の成長
3. 学会等名 日本材料学会 半導体エレクトロニクス部門 第1回講演会・見学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上泰一, 亀井龍真, 中村領太, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 溶液塗布熱分解法によるHf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ 薄膜の作製
3. 学会等名 日本材料学会 半導体エレクトロニクス部門 第1回講演会・見学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀井龍真, 井上泰一, 小山政俊, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 ミスト化学気相堆積法によるWO ₃ 薄膜の成長
3. 学会等名 日本材料学会 半導体エレクトロニクス部門 第1回講演会・見学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池 広大, 大西 勇輔, 広藤 裕一, 小池 一步, 矢野 満明
2. 発表標題 絹フィブロインで酵素を固定化した拡張ゲートFET型グルコースセンサの開発: 高感度・高耐久測定の実現
3. 学会等名 第4回半導体エレクトロニクス部門委員会 第2回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子豊和, 藤原壮大, 小山政俊, 前元利彦, 佐々誠彦
2. 発表標題 ミストCVD法によって成長した (111) 3C-SiC テンプレート基板上 -Ga ₂ O ₃ 薄膜の熱的安定性
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西 勇輔, 池 広大, 小山 真由子, 広藤 裕一, 中村 吉伸, 小池 一步, 矢野 満明
2. 発表標題 長鎖アミノシランを用いて酵素を固定化した拡張ゲート電界効果トランジスタのグルコース検出特性
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (センサ・マイクロマシン部門大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田 知也, 村上 聡, 亀井 龍真, 小池 一步, 大松 繁, 矢野 満明
2. 発表標題 塗布熱分解法で成膜したW03のNOガス検出特性
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム(センサ・マイクロマシン部門大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池 広大, 大西 勇輔, 広藤 裕一, 小池 一步, 矢野 満明
2. 発表標題 絹フィブロインで酵素を固定化した拡張ゲートFETのグルコース検出特性
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子豊和, 藤原壮大, 小山政俊, 前元利彦, 佐々誠彦
2. 発表標題 ミスTVD法による 3C -SiC(111)テンプレート基板への -Ga2O3ヘテロエピタキシャル成長
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大浦 紀頼, 小山政俊, 前元利彦, 佐々誠彦
2. 発表標題 溶液法により形成したAl添加ZnO-TFTの特性評価と基板依存性
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 W. Kuwagata, H. Mito, S. Murakami, K. Koike, Y. Harada, S. Sasa, M. Yano
2. 発表標題 Protonation-Induced Change on Optical, Electrical, and Structural Properties of Epitaxial WO ₃ Films
3. 学会等名 The 2017 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大西勇輔, 池 広大, 広藤裕一, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 長鎖アミノシランを用いて酵素を固定化した拡張ゲート電界効果トランジスターのグルコース検出特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田知也, 村上 聡, 亀井龍真, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 ゾル・ゲル法で成膜した酸化タングステン膜のガス検知特性
3. 学会等名 平成29年度日本材料学会半導体エレクトロニクス部門第1回講演会・見学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池 広大, 大西勇輔, 広藤裕一, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 絹フィブリンで酵素を固定化した拡張ゲート電界効果トランジスターのグルコース検出特性
3. 学会等名 平成29年度日本材料学会半導体エレクトロニクス部門第1回講演会・見学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池 広大, 大西勇輔, 広藤裕一, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 ゲート表面に酵素を含む絹フィブロイン膜を固定化した拡張ゲート電界効果トランジスターのグルコース検出特性
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村上 聡, 岩田知也, 亀井龍真, 小池一步, 矢野満明
2. 発表標題 ゾル・ゲル法を用いた三酸化タングステン薄膜の作製と評価
3. 学会等名 平成29年度日本材料学会半導体エレクトロニクス部門・ナノ材料部門合同研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 衆形航行, 美藤大輝, 小池一步, 原田義之, 矢野満明, 稲葉克彦, 小林信太郎
2. 発表標題 MBE成長したW03薄膜のプロとネーションによる構造変化
3. 学会等名 第78応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 美藤大輝, 衆形航行, 小池一步, 原田義之, 矢野満明, 稲葉克彦, 小林信太郎
2. 発表標題 LSAT基板を用いた単結晶W03薄膜の分子線エピタキシャル成長
3. 学会等名 第78応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪工業大学 ナノ材料マイクロデバイス研究センター
<http://www.oit.ac.jp/japanese/nanotech/>
大阪工業大学 地域産業支援プラットフォーム
<http://www.oit.ac.jp/oitp/>

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	小山 政俊 (KOYAMA Masatoshi) (30758636)	大阪工業大学・工学部・講師 (34406)	