

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：32410

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21133

研究課題名（和文）ウェアラブル型グルコースセンサにむけた低pH駆動型水酸化ニッケル電極触媒の開発

研究課題名（英文）Development of Ni hydroxide electrocatalysis operated at lower pH for wearable glucose sensor

研究代表者

丹羽 修（Niwa, Osamu）

埼玉工業大学・先端科学研究所・教授

研究者番号：70392644

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：我々は窒素化したカーボン薄膜電極上にNiナノ粒子を形成すると、糖に対する電気化学触媒活性が向上することを発見し、ウェアラブル糖センサとして研究を開始した。窒素化されたカーボン膜上のNiナノ粒子は、未窒素化膜に形成した粒子と比較し、より結晶性の良いことが分った。また、前者では、表面の水酸化物の酸化還元反応が速いことを確認した。更に前者は、溶液のpHを1桁以上低下させても後者に比較し、高い電流値が得られた。更に校正不要なセンサにむけ、クーロメトリ測定に適した大面積のカーボンフェルト電極をプラズマ処理により窒素化した電極にNiナノ粒子を電析させるとカーボン薄膜の時と同様に高い糖酸化特性が観測された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、カーボン電極表面をプラズマ処理により窒素化した後、糖酸化特性を有するNiナノ粒子を修飾すると窒素化する前に比べて高い糖酸化特性を実現し、より低いpHでも特性の向上が見られた。これらの結果は、電極触媒活性向上の手段として異議深いと共にウェアラブル糖センサの様な連続測定が必要なバイオセンサの電極として社会的意義がある。更に大面積の電極でも効果を確認したことは、センサへの応用だけでなく、糖やアルコールを燃料とする燃料電池の電極への応用の可能性もある。

研究成果の概要（英文）：We found that Ni nanoparticles formed on the nitrogen doped (N-doped) carbon film shows higher electrocatalytic activity compared with nanoparticles on the pure carbon film, and applied for developing wearable glucose sensor. Ni nanoparticles formed on N-doped carbon film show higher crystallinity than those on pure carbon film. Furthermore, the former electrode shows higher electrocatalytic current than latter electrode even at one order of magnitude lower pH. In order to develop calibration free sensor, we employed nitrogen plasma treated carbon felt with high surface area and electrodeposited Ni nanoparticles and confirmed improved electrocatalytic activity for sugars like Ni nanoparticles modified N-doped carbon film.

研究分野：電気化学、マイクロナノ化学

キーワード：グルコースセンサ カーボン薄膜 窒素化 ニッケルナノ粒子 糖酸化

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、糖尿病患者の血糖値管理のため、数多くの血糖センサが実用化され、大きな市場を形成している。血糖センサは、酵素を用いた使い捨てタイプであるが、連続測定が可能なウェアラブルセンサ等では、安定性に劣る酵素の代替として金属や酸化物を用いて触媒活性を実現する研究が盛んである (*Materials Sci. & Engineering C*, 2014, 41, 100)。

これまで中性条件下でのグルコース検出は、金や白金などの貴金属電極に限られてきた。しかし、これらの貴金属電極は低感度であり、さらに表面汚染が生じやすいためウェアラブル化に最も重要な測定安定性が確保できないという致命的な欠点があった。一方、ニッケルや銅などの遷移金属は高感度測定が可能であり、かつ表面汚染を受け難いが、触媒反応の駆動に高アルカリ溶液条件を必要とする点で課題があった。

これまで提案者らは、各種スパッタ法を用いて、超平坦 (平均粗さ0.1 nm以下) かつ電位窓の広いナノカーボン薄膜電極を開発し、DNAなど分子量の大きな分子の非特異吸着を制しつつ電気化学測定できることを報告した (*JACS* 2006, 128, 7144)。また、カーボン骨格を一部窒素化すると、様々な生体分子に対し活性が向上することなどを実現した (*Nanoscale*, 2019, 11, 10239)。一方、金属とカーボンを共スパッタすると金属ナノ粒子が埋め込まれたカーボン膜が形成され、重金属 (*Anal. Chem.*, 2016, 88, 2944) や糖 (*Nanoscale*, 2016, 8, 12887; *Electroanalysis*, 2018, 30, 1407.) などで高い感度と安定性が得られることを報告した。最近、Niナノ粒子上の活性点 (過酸化水酸化物) 形成反応およびそれに伴って進行する糖酸化反応が、窒素化カーボン上の粒子では約50 mV低電位かつ優れたターンオーバーで進行することを発見した。

### 2. 研究の目的

上記の背景を元に、本研究では、酵素を用いないウェアラブル型グルコースセンサにむけた低pH駆動型水酸化ニッケル (Ni(OH)<sub>2</sub>) 電極触媒の開発を目的とする。具体的には、従来、アルカリ性溶液中でしか機能しないNi(OH)<sub>2</sub>電極触媒の低pHでの糖酸化において重要な役割を果たす (1) 表面末端カーボン電極と電極触媒の電氣的相互作用であるマトリクス効果によるNi(OH)<sub>2</sub>活性向上のメカニズム解明、(2) Ni(OH)<sub>2</sub>電極触媒の低圧真空プラズマ (LPP) 法による新規触媒活性点導入プロセス開発、(3) 中性試料での高感度分析にむけた局所pH調整法の確立を行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 3. 1 電極の作製

カーボン薄膜は、アンバランストマグネトロン (UBM) スパッタ法、RF スパッタ法にて作製した。後者は、(有) スパッタラボに依頼した。基板としてハイドロップしたシリコン基板 (3 インチ) を使用し、Ar ガス雰囲気ですパッタを行った。その後、作製した基板を電極サイズ (1cm×5 mm 幅程度) の短冊状に切り出し、プラズマ処理装置 (魁工業株式会社) に設置し、窒素雰囲気下でプラズマ処理を行った。その後、Ni イオンを含む水溶液中でNi ナノ粒子の電析を行った。窒素化前後のカーボン膜やNi 電析後の膜はXPSにより構造を調べた。また、電析したナノ粒子は、透過型電子顕微鏡により構造解析を行った。

一方、より大面積の電極として、カーボンフェルト (CF) 電極を選択した。CF もカーボン薄膜と同様に窒素ガス雰囲気下のプラズマ処理によって窒素化し、その後ポンチにより 3mm~6mm 径の円筒型にした。それを作用極の材料を除いた孔の空いた棒電極 (ビーエーエス社) に入れて、導通を取り電極とした。その後、本電極を作用極としてNi の電析を行った。

他に同じく糖類に対して電気化学触媒作用がある銅 (Cu) ナノ粒子をカーボンナノチューブ (CNT) 上に形成した。この方法では、水中プラズマ法を用いてCu イオンを含む溶液にCNTを分散させ、高周波を印加するとCu ナノ粒子が担持されたCNTが得られる。これを濾過乾燥させてCu ナノ粒子が担持されたCNTを得た。両電極共にNi 或いはCu を電析後、ナノ粒子のサイズなどを走査型電子顕微鏡 (SEM) により決定した。

#### 3. 2 糖類の測定

Ni ナノ粒子を電析した窒素化薄膜電極は、測定開始前に 0.1MKOH アルカリ水溶液中で電位掃引を行い、表面の水酸化物の量の増加を行った、水酸化物は参加を受けると過酸化物となり糖の酸化に対して触媒活性を有する。酸化電流が安定した後、所定の濃度のグルコースやオリゴ糖を含むアルカリ水溶液中で糖の応答をサイクリックボルタンメトリ法やリニアスイープボルタンメトリ法により測定した。また、pH を低下させた場合の応答についても窒素化したカーボン膜上に形成したNi ナノ粒子と窒素化していない膜上のナノ粒子について比較を行った。また、プラズマ処理時の窒素の圧力を変え、カーボン膜中の窒素濃度を変えた膜を作成し、これ

に Ni 電析を行って、糖酸化特性の窒素濃度依存性を測定した。

次に CF 電極についても窒素化した CF 電極と窒素化していない CF 電極にそれぞれ Ni を電析し、電極を掃引しながら水酸化物を形成させた後、グルコース酸化特性を比較した。次に、Cu ナノ粒子を形成した CNT については、適当な割合でパラフィンオイルと混合しカーボンペースト化した後孔の開いた棒状電極に詰めて使用し、アルカリ水溶液中で糖酸化特性を調べた。

#### 4. 研究成果

##### 4. 1 Ni ナノ粒子を修飾した窒素化カーボン薄膜電極の構造

まず、XPS 測定によりプラズマ処理で窒素化したカーボン膜の組成分析を行った。その結果、20 Pa での窒素化による表面窒素原子の濃度は約 1.7% であることが確認された。その後、圧力を 15 Pa、10 Pa、5 Pa と下げて窒素化を行うと窒素濃度は、それぞれ 2.7 Pa、2.9 Pa、3.1 Pa に増加した。一方、窒素化前のカーボン表面の窒素濃度はほぼ 0% であった。Ni を  $-1.3$  V (未処理カーボン膜では、 $-1.15$  V) で電析した後、 $0.2 \sim 0.7$  V の範囲で CV 法により電位掃引を行って、 $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NiOOH} + \text{H}_2 + \text{e}^-$  の可逆的な酸化還元反応を繰り返すことで Ni ナノ粒子表面の水酸基の濃度を安定するまで増加させた。図 1 に Ni ナノ粒子の FE-SEM, HR-TEM, and HAADF-STEM-EDS イメージを示す。ナノ粒子は、 $34 \sim 38$  nm と比較的サイズに近いものを比較した。また、 $100$  mV/s で 10 回、 $0.1$  M NaOH 水溶液中で CV 法により電位掃引を行った後の試料を観察した。未処理カーボン、窒素化カーボン上に形成した Ni ナノ粒子は、共に表面に水酸化物 (+Ni 酸化物) の層が形成されたコアシェル構造であることが確認された。未処理カーボン膜上の Ni ナノ粒子の  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  と NiO の比は、 $78:22$ 、窒素化カーボン膜上の Ni ナノ粒子の  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  と NiO の比は、 $92:8$  で窒素化カーボン膜上の Ni ナノ粒子の方が水酸化物の量が多かった。一方、未処理カーボン膜上のナノ粒子と窒素化カーボン膜上のナノ粒子では、前者より後者の方が形状が均一で、未処理カーボン上のナノ粒子では、粒界が多数観測され、ポリ結晶構造であると予想された。

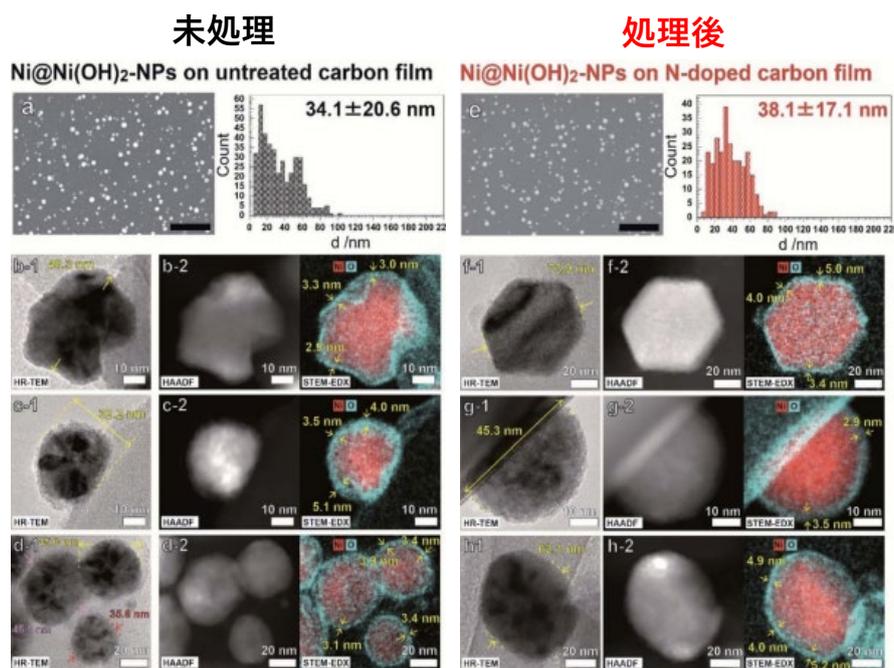


図1. 未処理カーボン膜上に形成したNiナノ粒子と窒素化カーボン膜上に形成したNiナノ粒子のFE-SEM、粒形分布、(b-1, c-1, d-1, f-1, g-1, h-1)HR-TEM, and (b-2, c-2, d-2, f-2, g-2, h-2) HAADFSTEMイメージ(S. Shiba et al. RSC Advances, 2021, 11, 13311.)

##### 3. 2 Ni ナノ粒子を修飾した窒素化カーボン薄膜電極の電気化学特性

図 2 に  $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NiOOH} + \text{H}_2 + \text{e}^-$  の電気化学的な酸化還元反応に伴うボルタモグラムの示す。電位掃引範囲は  $0 \sim 0.6$  V として、掃引速度は、 $1$ 、 $5$ 、 $100$  mV/s とした。 $1$  mV/s (a) では、未処理カーボン、窒素化カーボン上に形成した Ni ナノ粒子双方とも酸化還元波に大きな差はなく両方ともにシャープな酸化還元ピークが得られた。掃引速度を  $5$ 、 $100$  mV (b、c) に増加させると未処理カーボン膜上に形成した Ni ナノ粒子では、酸化電流と還元電流のピーク電位差 ( $\Delta E$ ) が次第に大きくなり、 $100$  mV/s では酸化ピークが明瞭に観測されない程高電位側にシフトした。これに対して窒素化したカーボン膜上に形成した Ni ナノ粒子では、 $100$  mV/s の速い掃引速度でもこの結果は、 $\Delta E$  の増加は小さく明瞭な酸化還元ピークが観測された。以上の結果は、

窒素化カーボン膜上に形成された Ni ナノ粒子の酸化還元反応は、窒素化していないカーボン膜上に形成したナノ粒子と比較し、速いことを示唆している。図 2(d) にそれぞれのナノ粒子について酸化還元ピークの面積（電荷量）から求めた NiOOH 量の電位掃引速度依存性を示した。その結果、窒素化していないカーボン膜上に形成した Ni ナノ粒子では、1 mV/s の時に比べて、100 mV/s では、電荷量は 35 %に低下したのに対して、窒素化カーボン膜上に形成したナノ粒子では、100 mV/s でもほぼ 100%の値が観測され、窒素化していないカーボン膜上のナノ粒子では、酸化還元反応が掃引速度に追従できていないことがわかる。以上の結果は、窒素化していないカーボン膜上のナノ粒子は、多結晶構造で粒界が多く、導電性の低い水酸化物層内の電子移動がより遅く、このような差は生じたものと推測される。

次に図 3 では、pH 12.0 と pH12.7 での 300  $\mu$ M のマルトペンタロース（オリゴ糖）の電極触媒酸化特性を示す。測定はリニアスイープボルタンメトリー（LSV）法を用い、掃引速度は 1 mV/s とした。まず、pH12.7 では、Ni ナノ粒子修飾窒素化カーボン膜では、Ni ナノ粒子を修飾した未窒素化カーボン膜に比べ大きな糖酸化電流が得られた。これは、図 2 の結果である NiOOH の形成速度が速く、糖を酸化して Ni(OH)<sub>2</sub> に戻っても素早く NiOOH に再酸化されるためと考えられる。また、マルトペンタロースの酸化は、Ni ナノ粒子修飾窒素化カーボン膜では、より低電位より観測された。一方、pH12.0 では、同様に糖酸化で得られる電流値は、Ni ナノ粒子修飾窒素化カーボン膜で大きな値が得られたが、酸化が始まる電位は大差がなかった。これは、糖の pKa が 12.4 であるため、pH12.7 では正に帯電しており、窒素化カーボンが負に帯電しているため、電極とも静電的な相互作用によって過電圧が定価したと考えられる。

一方、pH12.0 では、糖は中性であるため、上記の相互作用はなく、過電圧の低下は観測されなかったと考えられる、さらに pH を 11.0 くらいまで低下させても糖の酸化が起こり、窒素化による電流値の増加が観測され、多少低い pH でも効果があることが分かった。

一方、膜中の窒素濃度も Ni ナノ粒子の活性に大きな影響を与えることが分かった。例えば、これまでの結果で得られた窒素濃度 1.7 %の膜に比べ、低圧で窒素化し窒素濃度が 3.1 %のカーボン膜に修飾した Ni ナノ粒子では、約 2 倍のグルコース酸化電流が観測された。どの程度の窒素濃度まで電流の増加が起こるかは、プラズマ装置での窒素導入量をこれ以上上げることができなかったため明らかにすることができなかった。

### 3. 3 Ni ナノ粒子修飾カーボンフェルト（CF）電極の特性

連続的に糖を酸化する場合、Ni ナノ粒子の固定化量は多い方がより長期安定性が得られると考えられる。また、クーロメトリー法の様な校正不要な測定法では、試料の全反応が必要なので大きな電流が得られる大面積の電極が都合が良い。そこで、市販の CF を電極として用いた。厚みが 3 mm 程度あるため、プラズマによる窒素化の際に内部まで均一に窒素化することが重要であ

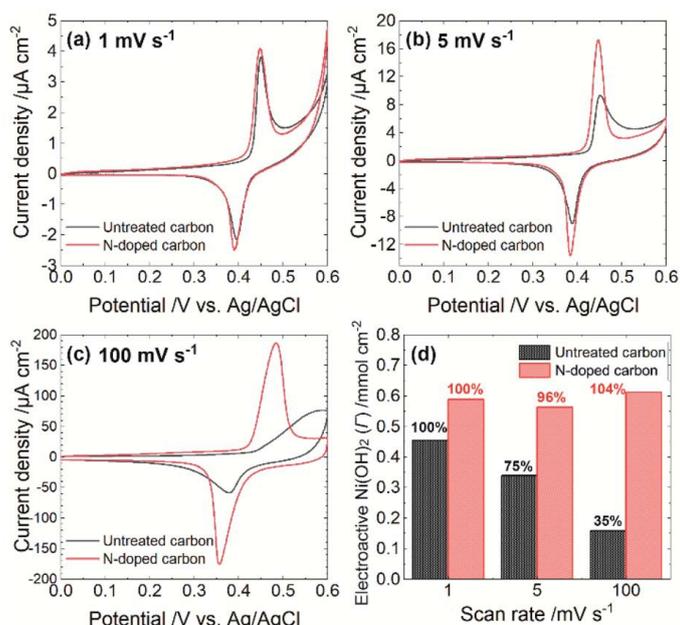


図 2. 0.1M NaOH 水溶液 (pH12.7) 中での Ni ナノ粒子修飾窒素化カーボン膜と未窒素化カーボン膜のボルタモグラム (a) 1mV/s, (b) 5 mV/s, (c) 100 mV/s, (d) 生成した NiOOH 量の掃引速度依存性 (S. Shiba et al. RSC Advances, 2021, 11, 13311.)

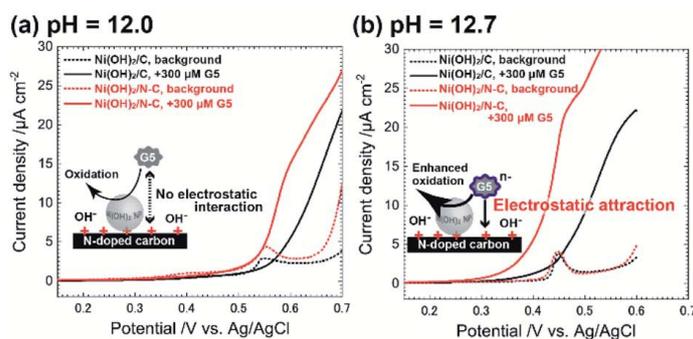


図 3. 300  $\mu$ M マルトペンタロースの酸化特性、破線：糖濃度：0 M、実線：300  $\mu$ M、赤：Ni ナノ粒子修飾窒素化カーボン膜、黒：Ni ナノ粒子修飾カーボン膜 (S. Shiba et al. RSC Advances, 2021, 11, 13311.)

る。平均自由工程のより大きな低圧での窒素化を検討した。まず、CF 電極の窒素化条件を検討した。5 Pa、10 Pa、20 Pa の 3 条件でプラズマによる窒素化処理を行ったところ、それぞれ 3.5 %、1.5 %、0.9 % の値が得られ、カーボン膜と同様に低圧での窒素化が適していることが分かった。次に Ni を電析後、XPS 測定を行ったところ、触媒活性に重要な  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  の構造が 86~97% で  $\text{NiO}$  に比べてかなり多いことが分かった。また、SEM 観察により、Ni の電析状態を調べたところ、Ni 電析時間が短い時 (10 s, 200 s) は、ナノ粒子構造が観測されたが、400 s になると Ni が連続的な構造になってナノ粒子構造が観測されなくなった。

図 4(a) に  $\text{NiOOH}$  の形成を CV 測定で調べた結果を、(b) にグルコース酸化特性を示す。掃引速度が低い場合 (図は省略) は窒素化の有無にかかわらず同様な酸化還元ピークが観測された。一方、100 mV/s では、(a) に示すように、未処理の CF 電極に形成した Ni ナノ粒子では明らかに  $\Delta E$  の増加が観測され、カーボン薄膜と同様な挙動が得られた。また、図 4(b) に示すようにグルコース酸化電流も Ni ナノ粒子を修飾した窒素化 CF 電極では、3 倍以上の電流値が観測された。また電流の絶対値は見かけの電極面積で比較すると薄膜電極よりもかなり大きく糖の大量酸化に適した構造であると考えられる。更に大面積の電極を得るためナノカーボン (CNT) を懸濁させた銅イオンを含む溶液を用いて液相プラズマにより銅ナノ粒子を CNT に担持させた材料を合成し、ろ過乾燥後パラフィン油を混ぜてカーボンペースト化して電極を作製した。この方法では Ni で合成が困難なため、同じく糖酸化特性を有する銅ナノ粒子を修飾した。pH12.7 のアルカリ水溶液中で銅の表面の水酸基の酸化還元に基づくピークが観測された。しかし CNT の窒素化と活性向上については今後の課題である。

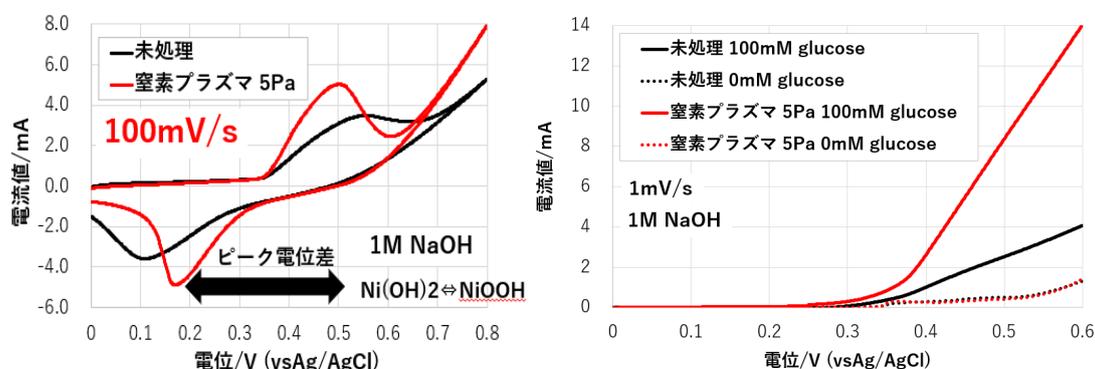


図 4. Ni 電析窒素化 CF 電極と Ni 修飾 CF 電極 (未処理) の酸化還元応答の比較 (左図)、Ni 電析窒素化 CF 電極と Ni 修飾 CF 電極 (未処理) の 100 mM グルコース酸化特性の比較 (右図)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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<br>Zhang Zixin, Ohta Saki, Shiba Shunsuke, Niwa Osamu  | 4. 巻<br>35                    |
| 2. 論文標題<br>Nanocarbon film electrodes for electro-analysis and electrochemical sensors  | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Current Opinion in Electrochemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>101045 ~ 101045 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.coelec.2022.101045  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Shiba Shunsuke, Koike Ayaka, Takahashi Shota, Kato Dai, Kamata Tomoyuki, Niwa Osamu   | 4. 巻<br>16                    |
| 2. 論文標題<br>Vertically Oriented Metallic Heterodimer Array Semiembedded in Flat Conductive Carbon Film for Electrochemical Application | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>ACS Nano  | 6. 最初と最後の頁<br>10589 ~ 10599   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acsnano.2c02157   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>NIWA Osamu, OHTA Saki, TAKAHASHI Shota, ZHANG Zixin, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai, SHIBA Shunsuke                              | 4. 巻<br>37                    |
| 2. 論文標題<br>Hybrid Carbon Film Electrodes for Electroanalysis  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Analytical Sciences   | 6. 最初と最後の頁<br>37 ~ 47         |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2116/analsci.20SAR15   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>太田早紀, 芝 駿介, 鎌田智之, 加藤 大, 矢嶋龍彦, 丹羽 修  | 4. 巻<br>70                    |
| 2. 論文標題<br>窒素化ナノカーボン薄膜の構造, 電気化学特性と分析への応用  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>分析化学 (BUNSEKI KAGAKU)   | 6. 最初と最後の頁<br>511~520         |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>芝 駿介, 太田早紀, 大谷和也, 高橋将太, 加藤 大, 丹羽 修  | 4. 巻<br>11                |
| 2. 論文標題<br>Supporting effects of a N-doped carbon film electrode on an electrodeposited Ni@Ni(OH) <sub>2</sub> core shell nanocatalyst in accelerating electrocatalytic oxidation of oligosaccharides | 5. 発行年<br>2021年           |
| 3. 雑誌名<br>RSC Advances  | 6. 最初と最後の頁<br>13311-13315 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/d1ra01157j  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>NIWA Osamu, OHTA Saki, SHIBA Shunsuke, KATO Dai, KURITA Ryoji              | 4. 巻<br>92          |
| 2. 論文標題<br>Sputter deposited nanocarbon film electrodes for electrochemical analysis | 5. 発行年<br>2024年     |
| 3. 雑誌名<br>Electrochemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>22004 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5796/electrochemistry.23-68121                        | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 5件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>張越, 張子欣, 関根佑太, 太田早紀, 矢嶋龍彦, 丹羽修        |
| 2. 発表標題<br>カーボン膜表面の窒素濃度がニッケルナノ粒子の電気化学的な糖酸化に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>電気化学会第90回大会                           |
| 4. 発表年<br>2023年                                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>丹羽修, 太田早紀, 大谷和也, 小池綾香, 高橋将太, 鎌田智之, 加藤大, 芝駿介 |
| 2. 発表標題<br>ニッケルナノ粒子修飾カーボン薄膜電極の電気化学触媒活性向上               |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会 (OME)                |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>関根佑太, 高橋将太, 矢嶋龍彦, 丹羽修         |
| 2. 発表標題<br>Niナノ粒子修飾窒素化カ - ボンフェルト電極の糖酸化特性 |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第71年会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                          |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>丹羽修                    |
| 2. 発表標題<br>カ - ボン薄膜の表面制御とその電気化学応用 |
| 3. 学会等名<br>表面技術協会 第146講演大会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, KOIKE Ayaka, OHTA Saki, TAKAHASHI Shota, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai, SHIBA Shunsuke            |
| 2. 発表標題<br>Metal nanoparticles modified carbon film electrodes for electrocatalytic oxidation of sugars and alcohols |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Advanced Ttechnology in Chemical Engineering (ICAICE) (招待講演)                  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, OHTA Saki, TAKAHASHI Shota, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai, SHIBA Shunsuke     |
| 2. 発表標題<br>Hybrid type carbon film electrodes for electrocatalytic reaction and chemical sensing |
| 3. 学会等名<br>2022 Fall Conference of the Korean Sensor Society (招待講演)                              |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>太田早紀, 小澤友範, 芝 駿介, 矢嶋龍彦, 鎌田智之, 加藤 大, 丹羽修 |
| 2. 発表標題<br>プラズマ処理窒素化カ - ボン薄膜電極による血清タンパク質存在下の電気化学分析 |
| 3. 学会等名<br>第82回分析化学討論会                             |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, SHIBA Shunsuke, OHTANI Kazuya, TAKAHASHI Shota, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai |
| 2. 発表標題<br>Metal nanoparticles modified carbon film electrodes for chemical sensing              |
| 3. 学会等名<br>International Meeting of Chemical Sensors (IMCS) 2021 (招待講演) (国際学会)                   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, TAKAHASHI Shota, OHTANI Kazuya, Ohta Saki, YAJIMA Tatsuhiko, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai, SHIBA Shunsuke |
| 2. 発表標題<br>Metal nanoparticles modified carbon film electrodes for electroanalysis  |
| 3. 学会等名<br>18th International Symposium of ElectroAnalytical Chemistry(ISEAC) (招待講演) (国際学会)                                   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, SHIBA Shunsuke, OHTA Saki, OHTANI Kazuya, TAKAHASHI Shota, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai |
| 2. 発表標題<br>Electrochemical performances of nitrogen-containing carbon film electrodes                       |
| 3. 学会等名<br>72nd Annual ISE Meeting (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>丹羽 修, 太田早紀, 高橋将太, 芝 駿介, 鎌田智之, 加藤 大 |
| 2. 発表標題<br>表面修飾カーボン薄膜電極の電気化学特性と分析への応用         |
| 3. 学会等名<br>2021電気化学会秋季討論会 (招待講演)              |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋将太, 黒島大雅, 芝 駿介, 加藤 大, 鎌田智之, 丹羽 修 |
| 2. 発表標題<br>アルコール酸化に向けたニッケルナノ粒子修飾カーボン薄膜電極の開発   |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第70年会                       |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>丹羽 修                      |
| 2. 発表標題<br>カーボン薄膜電極の機能化と化学センサへの応用    |
| 3. 学会等名<br>高分子学会有機エレクトロニクス研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, OHTANI Kazuya, TAKAHASHI Shota, KAMATA Tomoyuki, KATO Dai, SHIBA Shunsuke |
| 2. 発表標題<br>Nanostructured film electrode for biochemical analysis                                |
| 3. 学会等名<br>Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>NIWA Osamu, OHTA Saki, SHIBA Shunsuke, YAJIMA Tatsuhiko   |
| 2. 発表標題<br>Plasma treated sputtered carbon film electrodes for suppressing fouling during electrochemical measurements |
| 3. 学会等名<br>Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>丹羽 修、 芝 駿介、 鎌田 智之、 加藤 大  |
| 2. 発表標題<br>ハイブリッド型のカーボン薄膜を用いた電気化学分析 |
| 3. 学会等名<br>第69回日本分析化学会年会 (招待講演)     |
| 4. 発表年<br>2021年                     |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-----------|--|--|----|
| 研究<br>分担者 | 芝 駿介<br><br>(Shiba Shunsuke)<br><br>(70823251) | 愛媛大学・理工学研究科(工学系)・助教<br><br><br>(16301) |    |

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 |
|---------|---------|