

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02845

研究課題名(和文) a-C表面での水素発生過電圧コントロールによる高効率な二酸化炭素固定化技術の構築

研究課題名(英文) Development of CO<sub>2</sub> reduction technique by controlling the overpotential for hydrogen evolution at the a-C surface

研究代表者

本多 謙介 (Honda, Kensuke)

山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授

研究者番号：60334314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高効率と高耐久性を併せ持つ二酸化炭素還元電極触媒と光触媒を具現化することを目的とした。電極材料には、物理的に安定で水素生成過電圧を高めることが可能なアモルファスカーボンを利用した。水素生成過電圧を高める効果の高い窒素を不純物原子とした、窒素ドープ導電性a-C電極の表面に活性サイトとして働くアミノ基とカルボニル基の導入により、二酸化炭素をギ酸に還元可能なa-C電極触媒を具現化できた。二酸化炭素還元電流効率は95%と高い値を示し、二酸化炭素電流の6時間後の低下率は7%程度と非常に安定である。したがって、高効率と高耐久性を併せ持つ二酸化炭素還元電極触媒の具現化に成功したと結論づけられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気化学および光電気化学的手法を用いてCO<sub>2</sub>をギ酸への変換を可能とする本研究の成果は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を低減可能であり、ギ酸を資源に利用可能なため、環境と資源・エネルギーの問題を同時に解決可能となる技術である。また、CO<sub>2</sub>からギ酸への還元反応は、標準電位が-0.61Vであり、水素生成反応の標準電位(0V)より卑電位側であるため、水溶液中で水素生成反応の阻害を受けずにCO<sub>2</sub>を還元することは困難である。本研究のa-Cを用いた水素生成反応の抑制制御と活性サイト賦与によるCO<sub>2</sub>還元触媒の具現化手法は、高活性と高耐久性を併せ持つCO<sub>2</sub>還元触媒を具現化する新たな手法であり、新たな触媒の設計指針となる。

研究成果の概要(英文)：Objective of this study is to realize electrocatalyst and photocatalysts for CO<sub>2</sub> reduction with higher efficiency and higher durability.

Amorphous carbon was selected as electrode material because amorphous carbon shows the higher over potentials for H<sub>2</sub> evolution and the extremely higher physical and chemical stability. Nitrogen atoms was selected as a dopant atom because the over potential for H<sub>2</sub> evolution was highest using nitrogen. a-C electrocatalysts for CO<sub>2</sub> reduction was successfully fabricated by introducing amino groups and carbonyl groups on the N-doped a-C surface as active sites for CO<sub>2</sub> reduction. The current efficiency for CO<sub>2</sub> reduction on the a-C electrocatalyst was extremely high and was 95%, and the CO<sub>2</sub> reduction current was stable and the decrease rate after 6 hours was 7%.

It was summarized that a-C electrocatalysts for CO<sub>2</sub> reduction with higher efficiency and higher durability was able to be realized.

研究分野：プラズマ材料科学

キーワード：アモルファスカーボン 二酸化炭素還元 電気化学触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度上昇は温暖化の原因とされ、その排出量を削減すべく世界中で低減策が模索されている中、残念ながら十分な効果を発揮するものはない。エネルギー消費量は年々増加しており 2050 年には需要倍増が見込まれるものの、化石燃料の欠乏と原子力エネルギーの失速から、その需要を満たすことは難しい。現在、人工的な光合成で CO<sub>2</sub> を取り込み、燃料(アルコール)を合成する研究 (CO<sub>2</sub> の固定化)が活発化している。CO<sub>2</sub> の還元生成物としては、オレフィンや燃料などへの転換技術が確立されている一酸化炭素(CO)が望ましい。**CO<sub>2</sub> の固定化は、環境と資源・エネルギーの問題を同時に解決可能となる技術**である。

**CO<sub>2</sub> から CO や蟻酸 HCOOH への還元反応は、標準電位が -0.53V と -0.61V vs. NHE であり、H<sub>2</sub> 生成反応の標準電位(0V vs. NHE)より卑電位側であるため、H<sub>2</sub> 生成反応の阻害を受けずに CO<sub>2</sub> を電気化学に還元、あるいは光触媒により還元することは困難**である。

●CO<sub>2</sub> 還元のための電気化学触媒電極の開発～現在 2 つのアプローチで研究が進んでいる。

### ① CO<sub>2</sub> 還元に対する触媒活性を高め、H<sub>2</sub> 生成よりも CO<sub>2</sub> 還元過電圧を低める手法

CO<sub>2</sub> を選択的に電気化学還元可能な電極触媒として、金属、合金、炭素ナノ構造などが報告されている。金属電極では、CO<sub>2</sub> 還元反応の生成物が CO ラジカル(反応中間体)と電極表面の吸着力で変化すると報告がある。CO ラジカル吸着力の弱い Hg、In、Sn、Cd、Pb では HCOOH が生成し、吸着力が強すぎる Pt や Ni では、生成物が脱離せず H<sub>2</sub> 生成反応のみが起こる。吸着力が中程度の Au、Ag、Cu、Zn は CO<sub>2</sub> 還元活性が高く、特に **Cu は還元電位を H<sub>2</sub> 生成電位よりも低下させることができ、H<sub>2</sub> 生成の阻害なく CO や CH<sub>4</sub> を高効率に生成**する。しかし、Cu 電極は電極表面の腐食や生成物の付着により活性が低下する。したがって、**耐久性が高く長期間利用可能な電極材料は実現できていない**。また、表面構想の制御により、Au、Ag、C と同等の CO ラジカルに対する吸着力を示す界面も作製できていない。

### ② H<sub>2</sub> 生成反応の過電圧を高めることで、CO<sub>2</sub> 還元と H<sub>2</sub> 生成の分離する手法

H<sub>2</sub> 生成過電圧を高めて CO<sub>2</sub> 還元反応の選択的に起こす電極の開発としては、安定性が高く電位窓の広いホウ素(B)ドーパダイヤモンド(BDD)を用いた研究が行われている。B は H<sub>2</sub> 発生触媒となるため、H<sub>2</sub> 生成反応の電位と CO<sub>2</sub> 還元反応の電位が近く、**電位制御による CO<sub>2</sub> 還元反応選択ができず、電流効率が 30% と低い**。また、表面の CO ラジカル吸着力が低いため、**生成物はホルムアルデヒドとなり CO とするには至っていない**。

このように、**高活性(H<sub>2</sub> 生成と CO<sub>2</sub> 還元の分離)と高耐久性を併せ持つ CO<sub>2</sub> 還元電極の具現化に到達していない**のが現状である。

●CO<sub>2</sub> 還元のための光触媒電極の開発状況

CO<sub>2</sub> 還元光触媒の研究開発においては、CO<sub>2</sub> 還元活性を示す材料が少ないことから、バンドギャップの広い半導体に助触媒を担持する手法が一般的に用いられている。例として、バンドギャップ 3.9 eV の BaLa<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> に Ag 助触媒を担持した系や、バンドギャップ 4.1 eV のアルカリ金属をドーピングした NaTaO<sub>3</sub>:M(M=Ca, Ba, Sr)に、Ag 助触媒を担持した系などがある。助触媒では、Cu を用いるとアルカン、アルケンやアルコールが、Au や Ag では CO が、Pb や Hg では HCOOH が選択的に生成される。

これらの系は、紫外光照射下でしか駆動せず、Ag や Cu などの助触媒は、表面の腐食や生成物の付着により活性が低下し、**耐久性が低いという問題点**がある。さらに、光励起により生成した電子とホールは大部分が再結合によって消滅し、CO<sub>2</sub> 還元反応に消費される電子やホールは 1% に満たないため、**光エネルギー変換効率が非常に悪く、実用化に必要なエネルギー効率 15% にはるかに及ばない**。また、**太陽電池+電気化学的 CO<sub>2</sub> 還元よりも量子効率が極めて低い**。電気化学触媒電極と同様、**高活性(H<sub>2</sub> 生成と CO<sub>2</sub> 還元の分離)と高耐久性を併せ持つ CO<sub>2</sub> 還元光電極の具現化には至っていない**。

## 2. 研究の目的

我々は近年、B および窒素(N)を含む炭化水素(液体)を原料としたプラズマ CVD 法で B および N 原子を a-C に不純物として添加し、光学ギャップ 0.5eV の n 型・p 型半導体材料の作成に成功した。また、導電性 N ドープ a-C を電気化学電極にすると、**水電解による H<sub>2</sub>・O<sub>2</sub> 発生が非常に高電位でしか起こらず(H<sub>2</sub>・O<sub>2</sub> 発生反応の過電圧が高い)、3V に及ぶ広い電位窓を示すことを独自に発見した(図 1)**。この特性は、H<sup>+</sup>イオンの吸着性の低い sp<sup>3</sup>炭素に由来するものである。a-C 中の窒素は H<sub>2</sub> 生成触媒として機能しないため、H<sub>2</sub> 生成過電圧が BDD より高い。導電性 N ドープ a-C は、0.1MNaF 中での長時間(2 時間)の電位印加(1.3V)でも腐食を生じず、a-C 本来の高硬度や耐腐食性という物理・化学的に優れた安定性を兼ね備えている。

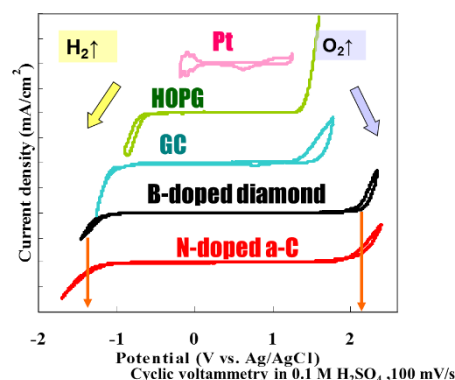


図 1. N-ドープ a-C と BDD の電位窓

また、Si と N の 2 原子を同時に添加した a-C 薄膜(Si 添加 a-C)の作製にも成功した。薄膜は、添加 Si 量に応じて光学ギャップを 0.5(茶色)～ 2.7eV(青色)まで任意に変更可能で、光電変換機能(量子効率 3%)を有する n 型半導体であり光触媒に適用できる(図 2)。我々は、表面にピリジン型 N を導入し、H<sub>2</sub>O 吸着性を向上させた光学ギャップ 2.34eV の N ドープ Si 添加 a-C 半導体ナノ粒子を用いると擬似太陽光照射下で水還元によって H<sub>2</sub> を生成できることを報告しており、助触媒なしの H<sub>2</sub> 生成光触媒を実現した。N ドープ n 型 Si 添加 a-C 上に B ドープ p 型 Si 添加 a-C 半導体を積層し pn 接合を形成すると起電圧 400mV、変換効率 0.3%の p・n 接合太陽電池として機能する。

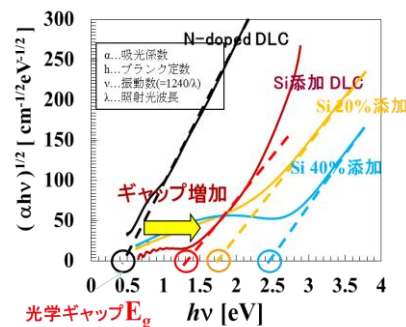


図 2. a-C への Si 原子添加による光学ギャップの変化

我々は、**a-C 表面において H<sub>2</sub> 生成過電圧が非常に高くなる特性を利用すれば、H<sub>2</sub> 生成反応に阻害されることなく、電気化学的に CO<sub>2</sub> 還元可能な、高効率で安定性の高い a-C 電気化学触媒電極と、CO<sub>2</sub> 還元光触媒を実現できると着想した。**また、H<sub>2</sub>O と同様、表面構造制御により CO ラジカルに対する吸着力を制御すれば、CO<sub>2</sub> を CO まで還元できると考えた。

初期的な試みとして、我々は既に、N ドープ a-C 電極を用いた CO<sub>2</sub> の電気化学還元測定において、CO<sub>2</sub> 還元ピークを H<sub>2</sub> 発生に阻害されずに -1.5V 付近に観測できることを見出した(図 3)。この分離は BDD 電極では不可能である。a-C 上での CO<sub>2</sub> 還元反応は、CO<sub>2</sub> から蟻酸 HCOOH への転換反応であった。すなわち、**N ドープ a-C は CO<sub>2</sub> 還元活性が高く、物理的・化学的安定性の高い電気化学触媒電極**である。この電極を用いてピーク電位(-1.45V vs. Ag|AgCl)で CO<sub>2</sub> を定電位還元すると、90%と高い電流効率で HCOOH を合成できた。この電極は 0.1M NaF 溶液中で 1.3V の電位を 10 時間印加しても表面形状に変化がない。高い電流効率で CO<sub>2</sub> を選択的に還元可能な、耐久性の高い a-C 電極を実現できた。

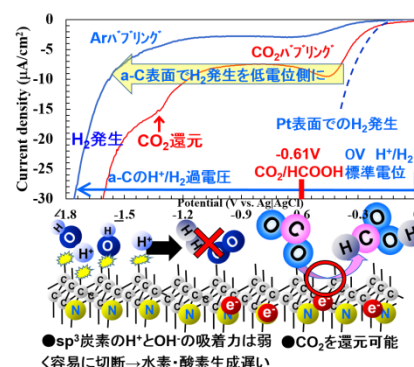


図 3.N-ドープ a-C の硫酸ナトリウム溶液中での CO<sub>2</sub> 還元反応のボルタモグラム

a-C 表面での H<sub>2</sub> 生成過電圧と CO<sub>2</sub> 還元活性 (CO 吸着特性) を決める要因は以下に示す(1)～(4)に示すように複数であると推測されている。(1)a-C の構造 (sp<sup>3</sup>/sp<sup>2</sup> 炭素比、sp<sup>2</sup> クラスターのサイズと分布) (2)ドーパントの種類 (3)ドーパント濃度 (4) CO 吸着サイト原子と濃度  
これらのパラメータを意識的に制御できれば、高い効率で CO<sub>2</sub> 還元可能な表面を創製できる。しかしこれらの原子レベルでの制御は達成されておらず、パラメータと H<sub>2</sub> 生成過電圧および CO<sub>2</sub> 還元活性の相関性については十分に理解されていない。

以上のように、CO<sub>2</sub> 還元電極・光触媒の開発に革新をもたらす独創的かつ創造的な創製手法を用いて、革新的な電極・光触媒の実現に向けて、「水素生成反応に阻害されることなく二酸化炭素還元反応を効率よく起こす電気化学電極・光触媒表面の具現化手法」を新たに開拓することを目的として、以下について研究を行った。

**「H<sub>2</sub> 発生過電圧制御と CO ラジカル吸着力制御のための a-C 表面構造制御手法の確立と CO<sub>2</sub> 還元触媒電極の具現化」の研究**

3. 研究の方法

本研究では下記の研究により、H<sub>2</sub> 生成過電圧と CO<sub>2</sub> 還元活性 (CO 吸着特性) を決める要因(前述(1)～(4))を明らかにし、これまでの材料の問題 (低効率・低耐久性) を克服できる新たな CO<sub>2</sub> 還元電気化学電極、CO<sub>2</sub> 還元光触媒の創製するところまでの到達を目指す。

○ H<sub>2</sub> 発生過電圧の上昇制御と CO ラジカル吸着力制御による CO<sub>2</sub> 還元触媒電極の開発

研究手法	課題
(1)水素生成過電圧を高めるドーパントの探索: n型不純物(アンチモン(Sb)やビスマス(Bi))とp型不純物(ガリウム(Ga)やインジウム(In))を添加したa-Cを作製し、H <sub>2</sub> 生成過電圧を高める効果のある不純物種を探索。表面構造とH <sub>2</sub> 生成過電圧の関係を明確にする。	[目標値] CO <sub>2</sub> 還元電流電効率: <b>99.9%以上</b> [解決策] 不純物で H <sub>2</sub> 発生過電圧を高電位化
(2)生成物を HCOOH から CO へと変更可能な表面構造の探索: N ドープ CNT では、CO ラジカルはピリジン型 N に強く吸着するとの報告がある。申請者は合成時のピリジン添加によって、a-C 表面へのピリジン型 N の導入と O <sub>2</sub> 電子還元活性の付与に成功した[特許 9, 論文 10]。表面にピリジン型 N などの表面官能基の導入を試み、CO ラジカル吸着力を上昇制御し、生成物を CO とする表面構造を探索する。	[目標値] CO/HCOOH の生成比: <b>50/1 以上</b> (Ag 助触媒の選択性値) [解決策] 表面官能基導入による CO ラジカル吸着力の向上

本研究の第一段階では、H<sub>2</sub> 生成過電圧を高めるための表面構造制御と、CO ラジカル吸着力を高めるための表面構造制御の新たな 2 つの手法の開拓により、**H<sub>2</sub> 生成反応に阻害されずに、**



## 高い電流効率でCO<sub>2</sub>をCOに選択的に還元可能なa-C電極の創製を図る。

### 4. 研究成果

#### ○ H<sub>2</sub>発生過電圧の上昇制御とCOラジカル吸着力制御によるCO<sub>2</sub>還元触媒電極の開発

研究開発の第1段階として、水素生成過電圧を高めるための表面構造制御と、COラジカル吸着力を高めるための表面構造制御の2つの手法の開拓を行った。

##### (1) 水素生成過電圧を高めるドーパントの探索:

不純物原子として、ボロン(B)と窒素(N)を適用した導電性a-Cを作成し、それぞれ電極における0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液中で水素発生電位(電流2 mA/cm<sup>2</sup>時の電位)の比較を行った。Nドーパa-Cの水素生成電位は、-1.4 V vs. Ag|AgClと観測されるのに対し、Bドーパa-Cの水素生成電位は、-0.9 V vs. Ag|AgClと観測されたことから、**水素生成過電圧を高める効果の高い不純物原子は窒素原子であることが判明**した。このため、以後の実験においては、窒素をドーパした導電性a-C電極を用いることとした。

##### (2) 生成物をHCOOHからCOへと変更可能な表面構造の探索:

CO<sub>2</sub>還元触媒実現には、水素生成電位が高いということに加えて、**電極表面にCO<sub>2</sub>の吸着サイトおよび、還元活性サイトを導入することが必要**である。そこで、本研究では、グラファイトエッジでCO<sub>2</sub>を吸着する特性があると報告されている**カルボニル基**と二酸化炭素を吸収してカルバメートを生成すると報告されている**アミノ基**を導入することにより、二酸化炭素還元活性の賦与を試みた。表面への触媒活性点の導入には、水プラズマ照射、あるいはアンモニアプラズマ照射により行った。図6と図7にNドーパa-C表面に導入した官能基の状態と、CO<sub>2</sub>還元活性を比較して示す。図6は、窒素ドーパa-C表面に導入された表面官能基を調べたXPS測定結果であり、図7はCO<sub>2</sub>を飽和した溶液中に電極を浸漬して測定したボルタモグラムである。図7に示されるようにプラズマ処理しないNドーパa-Cでは、カルボニル基の密度が少ない表面状態であるが、この電極表面では、図6に示すようにCO<sub>2</sub>還元活性を示さない。これに対して、表面に水プラズマ処理を行って、図6に示すように表面のカルボニル基の密度を上昇させた電極表面では、図7に示すようにCO<sub>2</sub>還元ピークが-1.5 V vs. Ag|AgCl付近に観測できた。さらに、表面にアンモニアプラズマ処理を行い、図6のようにカルボニル基に加えてアミノ基の密度を上昇させた表面状態に制御すると、CO<sub>2</sub>還元ピークが-1.3 V vs. Ag|AgClに貴電位側にシフトするのが確認できた。ピーク電位が高い電位で観測されるほどCO<sub>2</sub>還元活性が高いことを意味するが、アミノ基の導入密度を高めると、CO<sub>2</sub>還元活性が高まることが判明した。以上のことから、**Nドーパa-Cを用い、表面にアンモニアプラズマ処理によりアミノ基とカルボニル基を導入することにより、水素発生反応に阻害されずに高効率にCO<sub>2</sub>を還元可能な電極触媒の具現化に成功した。**

同じ広い電位窓を示し、水素生成速度の遅いボロンドープダイヤモンド電極でも、CO<sub>2</sub>還元が起こると報告されているが、-1.5 V vs. Ag|AgClにおける電流効率は9.9%と非常に低い値である。これに対して、a-CのCO<sub>2</sub>還元ピーク-1.3 V vs. Ag|AgClにおける**電流効率は95%と非常に高い値**であった。電流ピークを水素発生電流から分離させていることから、電流効率が非常に高い値を示す。

電流値の解析からCO<sub>2</sub>1分子に還元で0.571電子が関与する反応と算出でき、2電子でCO<sub>2</sub>をHCOOHに還元する反応もしくは、COに還元する反応が起きていると推測される。

a-C触媒電極に-1.6 Vの電位を印加した長時間の電解処理した溶液に対してUV吸収スペクトルを測定した結果、電解処理時間の増加に伴い、HCOOHの生成量が増加することが判明した。したがって、a-C電極触媒上では、CO<sub>2</sub>還元によりHCOOHが生成することが確認できた。また、-1.6 Vにおける還元電流値は、非常に安定しており、**20時間後の還元電流値の低下率は7%と、高い安定性を示した。**

したがって、本研究において、**高いCO<sub>2</sub>還元活性と高い耐久性を両立するCO<sub>2</sub>還元電極触媒の実現に成功**した結論づけられる。

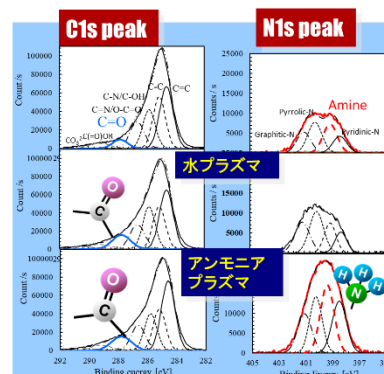


図6. 水プラズマ、アンモニアプラズマ処理前後でのa-C表面のXPSスペクトル

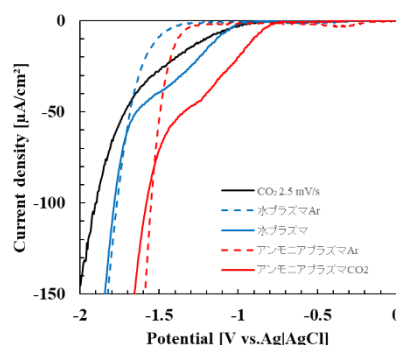


図7. 水プラズマ、アンモニアプラズマ処理前後でのa-C電極上でのCO<sub>2</sub>還元反応に対するボルタモグラム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Suzuko Yamazaki, Kotoe Sonoda, Kiyotaka Maruoka, Yukari Yamazaki, Hiroshi Naragino, Kensuke Honda, Toshihiro Murafuji, Michinori Sumimoto	4. 巻 421
2. 論文標題 Porous TiO <sub>2</sub> adsorbed with squaraine dye as visible-light-responsive photocatalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 113543-113550
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jphotochem.2021.113543	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 本多 謙介	4. 巻 37
2. 論文標題 表面官能基を制御したアモルファスカーボンによる酸素還元触媒	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NEW DIAMOND	6. 最初と最後の頁 25-27
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 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 本多 謙介	4. 巻 89
2. 論文標題 ダイヤモンド電極・アモルファスカーボン電極を用いた電気化学測定法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気化学	6. 最初と最後の頁 157-166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5796/denkikagaku.21-TE0003	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 Yamazaki Suzuko, Kozasa Keisuke, Okimura Kohshiro, Honda Kensuke	4. 巻 10
2. 論文標題 Visible light responsive TiO <sub>2</sub> photocatalysts for degradation of indoor acetaldehyde	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 41393 ~ 41402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0RA07567A	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 Kensuke HONDA and Ryutaro KOBAYASHI,	4. 巻 88
2. 論文標題 Fabrication of C-rich $\alpha$ -SiC Semiconductor Nanoparticles Having Variable Optical Gaps and Particle Sizes Using High-density Plasma in Localized Area	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 397-406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.20-64071	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 Kensuke Honda, Yuta Waki, Akari Matsumoto, Bunta Kondo, Yohsuke Shimai	4. 巻 107
2. 論文標題 Amorphous carbon having higher catalytic activity toward oxygen reduction reaction: Quinone and carboxy groups introduced onto its surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond & Related Materials	6. 最初と最後の頁 107900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.107900	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 本多 謙介
2. 発表標題 半導体ナノ粒子のプラズマ合成と水素生成光触媒への応用
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多 謙介, 井上 智之
2. 発表標題 水素発生過電圧コントロールと表面構造制御による高効率アモルファスカーボン二酸化炭素還元触媒の創製
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 2022年

1. 発表者名 近藤 文太, 本多 謙介
2. 発表標題 高効率多接合型太陽電池に向けてアモルファス構造を制御したSi添加アモルファスカーボン(a-Si <sub>x</sub> C <sub>1-x</sub> )半導体薄膜の開発と合成手法の確立
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 2022年

1. 発表者名 Bunta Kondo, Kensuke Honda
2. 発表標題 Development of P-doped Si-added amorphous carbon semiconductor thin films by structural defect controlling at pn-junction interface for high-efficiency multi-junction solar cells
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Naragino, Misato Ishikawa, Kensuke Honda
2. 発表標題 Development of atmospheric-pressure plasma reactor for fabrication of semiconductor nanoparticles with controllable particle size
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Naragino, Yu Saito, Kensuke Honda,
2. 発表標題 Electrochemical quantitation of sulfate ion in aqueous solution using peroxydisulfate ion generated by preelectrolysis
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kensuke Honda, Akari Matsumoto, Yukiko Makayama, Hiroshi Naragino
2. 発表標題 Development of high performance C-Rich a-SiC semiconductor having variable optical gap by control of its phase structure
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 文太、榎木野 宏、本多 謙介
2. 発表標題 高効率マルチ接合型太陽電池の実現に向けたキャリア密度および移動度の制御によるシリコン添加アモルファスカーボン薄膜の半導体特性の向上
3. 学会等名 第68回応用物理春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎木野 宏、石川 美里、本多 謙介
2. 発表標題 大気圧ミストプラズマを用いた粒径制御可能な半導体ナノ粒子の 合成法の開発
3. 学会等名 第68回応用物理春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Honda, and A Matsumoto
2. 発表標題 Development of High Performance C-Rich a-SiC Semiconductors with Narrow-Optical Gap By Control of Its Phase Structure
3. 学会等名 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2020)/238th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年



〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 二酸化炭素還元触媒の製造方法	発明者 本多 謙介	権利者 山口大学
産業財産権の種類、番号 特許、2021-163101	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------