

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289089

研究課題名(和文) 可変バンドギャップアモルファスカーボン半導体の開発と光電変換デバイスへの応用

研究課題名(英文) Development of amorphous carbon semiconductor with selective optical gap and its application to electronic devices for photon to electron conversion

研究代表者

本多 謙介 (Honda, Kensuke)

山口大学・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) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：現在、SiCやダイヤモンドなどのワイドバンドギャップ半導体や低コストかつ可変バンドギャップ半導体など、新たな高性能半導体の開発が急務である。本研究では、バンドギャップが4 eV程度、電子移動度もGaNと同レベルと新しいワイドギャップ半導体であるa-Cに異原子を導入し、光学ギャップ可変かつ高性能な半導体を実現することを目的とした。新しいCVD法とRFの高周波化によるsp<sup>3</sup>成分比の向上により、光学ギャップが1.2eVから2.7eVに可変なn型Si添加a-C半導体と1.8eVから2.5eVに可変なp型Si添加a-C半導体の作製に成功した。これらとSiとのヘテロ接合は、pn接合太陽電池として機能した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, it is urgent to develop novel semiconductor materials such as wide band-gap semiconductor (such as SiC, GaN and diamond) or semiconductor materials with selective band gap. Amorphous carbon (a-C, diamond like carbon) is expected to be novel wide gap semiconductor material because it shows higher optical gap of 4.0 eV and higher carrier mobility comparable to GaN. In this study, semiconductor materials with selective optical gap and higher semiconductor properties were tried to be realized by introducing foreign atoms in a-C. High performance n-type Si-added a-C semiconductor with optical gap ranging from 1.2 to 2.7 eV and p-type Si-added a-C with optical gaps ranging from 1.8 to 2.5 eV could be successfully synthesized by using an anode-coupling type r. f. plasma CVD method with higher r. f. frequency. Hetero-pn junctions of these n- and p-type amorphous semiconductor and single crystal Si were confirmed to be functioned as a photovoltaic cell.

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 可変バンドギャップ 半導体材料 太陽電池 プラズマCVD

## 1. 研究開始当初の背景

ハイパワーアンプなどの高周波高出力用途における SiC や GaN、ダイヤモンドなどの新たなワイドバンドギャップ半導体や、高効率太陽電池へ適用可能な低コストかつ可変バンドギャップ半導体材料など、新たな高性能半導体材料の開発が急務となっている。

ダイヤモンドは、Si に対してバンドギャップが約 5 倍(5.4 eV)と大きく、他のワイドバンドギャップ半導体 (SiC や GaN) と比べて絶縁破壊電圧が数倍高く、熱伝導率も最大であるという物性的優位性から未来の半導体として期待されている。しかしながら、低抵抗な n 型半導体ダイヤモンドの作製が困難であることが、実用化への障害となっている。

ダイヤモンドと同じ結合様式(sp<sup>3</sup> 結合)を含むアモルファスカーボン(a-C)は、高硬度・高耐摩耗性から、機械部品のコーティング膜として実用化されている。a-C の半導体特性は、バンドギャップが 4 eV 程度と SiC の 1.3 倍、熱伝導率は SiC の 2 倍、電子移動度も GaN と同レベルと、高周波・高出力トランジスタに必要なスペックを満たす新しいワイドギャップ半導体となると予想されている。

申請者は、近年、ホウ素および窒素を含む炭化水素(液体)を原料としたプラズマ CVD (p-CVD) 法により、窒素およびホウ素をアモルファスカーボンに不純物として添加し、光学ギャップ 0.5 eV の n 型・p 型半導体材料の作成に成功した。a-C への異原子添加は非常に困難であり、窒素添加 a-C を F C V A で作成した報告例が見られるのみである。申請者のオリジナルな手法である液体原料を用いるプラズマ CVD 法は、a-C への異原子添加を容易にする成膜手法である。

申請者は、この研究を発展させ、p - CVD 法の液体原料に、窒素原子とケイ素原子を含んだ炭化水素化合物を用い、シリコンと窒素の 2 原子を同時に添加した a-C 薄膜を作製することに成功した。その薄膜は、添加する Si 量に応じて a-C 中の sp<sup>2</sup>/sp<sup>3</sup> 炭素比と sp<sup>2</sup> 微粒子サイズが変化し、光学ギャップを 0.5 eV (黄色) ~ 2.7 eV (青色) の範囲で任意に変更可能な n 型半導体として機能する。Si を 20% 添加した窒素ドーパ a-C 薄膜 (Si 添加 N-doped a-C) は黄色 (1.7 eV の光学ギャップ値) であり、40% 添加した Si 添加 N-doped a-C は青色 (2.7 eV) で光透過性を示す n 型半導体として機能する。これらの a-C は、変換効率 3% の光電変換機能を有している。この成果は、「技術シーズを活用した研究テーマの発掘」(技術情報協会 2013 年 p. 614) に紹介され注目を集めている。Si を微量添加した a-C 薄膜は高い硬度を示すため、保護膜やガスバリア膜としての研究が進んでいるが、光学ギャップを制御した半導体としての研究は例をみない。

ここで、申請者は、液体原料を用いる p-CVD 法は、Si のみならず、Al などさまざまな元素を容易に a-C に添加可能であり、その種類と添加量の制御により、a-C の構造を

変化させ、光学特性と半導体特性を同時にコントロール可能であると着想に至った。

## 2. 研究の目的

本課題では、a-C への異原子の導入により、波長フレキシブル(光学ギャップ可変)かつ高性能な半導体を実現し、a-C 半導体理論を構築することが第 1 の目的である。

p・n 型 a-C 半導体成膜技術の確立に応じ、順次、優れた特性を活かした物理化学アプリケーションのアウトプットを図る。異なる光学ギャップの a-C 太陽電池セルを積層(タンデム化)すると、太陽光の大部分の光を電子に変換でき、高効率太陽電池を実現できる(図 3)。a-C 半導体の p-i-n 接合界面の最適化を通し、変換効率 40% を超えるタンデム型太陽電池を具現化することが、第 2 の目的である。申請者は、導電性 a-C を電気化学電極として用いると、水電解による酸素・水素発生が高電位でしか起こらないことを見出した。水電解で生成する吸着 OH 基と a-C 表面間の結合力が弱いことによるこの特性は、吸着 OH 基を OH ラジカルとして利用可能なことを意味する。申請者は、a-C 電極を組みこんだ FIA システムに 3.6V の電位を加えながら、グルコース (Glc) を注入すると、OH ラジカルが Glc を酸化し、その生成物に由来する応答電流が観測されることを見出した。電流値は Glc 濃度に比例し、検出限界は 1.37 mM であり、一般成人の血糖値 (5-8 mM) を検出できる。本研究では、a-C の化学組成制御により Glc 酸化活性を向上させ、電極をくし型構造として Glc に対する選択性を向上、血液など複雑成分を含む試料からグルコースを選択的に分析可能なシステムの構築を目指す(第 3 の目的)。

## 3. 研究の方法

本研究では、前述の通り、3 つの研究目標を設定した。この目的を達成するために、(1) a-C 半導体を光学ギャップ可変、高性能化するための a-C 構造制御法として新 CVD 方式(アノードカップリングタイププラズマ CVD 法)による sp<sup>3</sup> 成分比の向上と sp<sup>3</sup> 炭素ナノ結晶化(高移動度化・絶縁化)と Al 添加(ワイドギャップ化)を導入する。

(2) 上記の a-C 半導体を用いた太陽電池を試作し、最適な a-C 品質と p-i-n 構造(不純物濃度、膜厚等)を探索し、a-C 半導体を高効率太陽電池に用いるためのプロセス技術を確立する。

(3) a-C 組成制御によりグルコース酸化活性を向上させ、マクロな電極構造付加による選択性の向上を併せて、グルコースを高感度に選択検出可能なセンサーを実現する。

## 4. 研究成果

(1) Si 添加 a-C の光学ギャップ制御と導電性制御

n 型導電性制御

p-CVD法の液体原料に、窒素原子とケイ素原子を含んだ炭化水素化合物を用いることで、シリコンと窒素の2原子を同時に添加したa-C薄膜を作製することに成功した。その薄膜は、添加するSi量に応じてa-C中の $sp^2/sp^3$ 炭素比と $sp^2$ 微粒子サイズが変化し、光学ギャップを1.7 eV(黄色)~2.7 eV(青色)の範囲で任意に変更可能なn型半導体として機能することを確認している。

本研究では、低ギャップ領域(~1.2 eV)と高ギャップ領域(~3.0 eV)へのコントロールの可能性の検証を行った。

第1に1.2 eV程度の低い光学ギャップを示し、n型半導体特性を示すSi添加a-C半導体の具現化の可能性の検証を行った。Si添加量の低下(炭素比の向上)により低ギャップ化は可能であると考えられるが、炭素比の増加は $sp^2$ 炭素不純物の増加を招き、 $sp^2$ 炭素が再結合中心として働くため、光電変換特性が低くなると懸念される。そこで、高い光電変換機能を保つことの可能な光学ギャップの最小値の探索を行った。

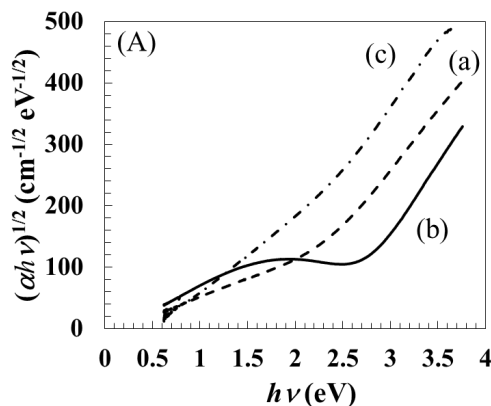


図1. (a) Si24-N-a-SiCと(b) Si44-N-a-SiC、(c) Si18-N-a-SiCのTauc'sプロット

NドープSi添加a-Cはカップリングタイプが変更可能なプラズマCVD法において、カソードカップリングタイプを選択して、(111)シリコン基板上に成膜した。r.f.プラズマの周波数は13.56 MHzとした。不純物源である1,1,1,3,3,3-ヘキサメチルジシラザン(HMDS)は、シリコン及び炭素源であるテトラメチルシラン(TMS)と混合し手用いた。

図1に紫外可視分光測定から算出した各Si添加量におけるTauc-plotを示す。Si添加量を18atom%から44atom%に変化させることで、光学ギャップ( $E_g$ )を1.2 eVから2.7 eVまで制御することが可能であった。

このSi添加量18atom%のNドープSi添加a-C半導体は、ホール効果測定において、キャリア密度 $2.02 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 、移動度 $5.70 \times 10^{-1} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ のn型半導体として機能することが明らかになった。

図2に、Siを18atom%添加したNドープSi添加a-Cを電気化学電極として使い、Xe lamp(5 mW  $\text{cm}^{-2}$ )照射下、0.2Mリン酸二水素

ナトリウム水溶液中でのサイクリックボルタモグラムを示す。暗所下では、ボルタモグラムにも水素発生に由来する電流のみ(酸素発生電流が観測されない)が観測され、典型的なn型半導体電極—電解液界面の整流応答を示した。Xe lamp照射下では、光励起により生成したホールが水を還元し、酸素発生に対応する電流応答を示す。4.0 V vs. Ag/AgClにおける還元電流値(-25.3 mA  $\text{cm}^{-2}$ )より、光電変換効率は、3.43%であった。

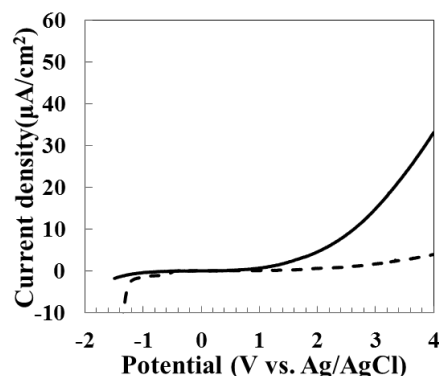


図2. Si18-N-a-SiCの0.2Mリン酸二水素ナトリウム溶液中のXe-lamp照射下でのリニアスイープボルタモグラム。実線はHg-Xe lamp照射下、破線は暗所下でのボルタモグラム

以上の結果より、光学ギャップを2.7 eV~1.2 eVまでコントロール可能なn型半導体性(キャリア密度 $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ )Si添加a-C半導体薄膜の作製に成功した。

#### p型導電性制御

BドープSi添加a-Cはカップリングタイプが変更可能なプラズマCVD法において、アノードカップリングタイプを選択して、(111)シリコン基板上に成膜した。不純物源であるトリメトキシホウ素(TMOB)は、シリコン及び炭素源であるテトラメチルシラン(TMS)と混合し、加熱することで気体としてチャンバー内に導入した。r.f.プラズマの周波数は40.00 MHzと高周波化した。図3は紫外可視分光測定から算出した各Si添加量におけるTauc-plotを示す。Si添加量0atom%から40atom%では、Si添加量を変化させることで、光学ギャップ( $E_g$ )を0.5 eVから2.5 eVまで制御することが可能であった。

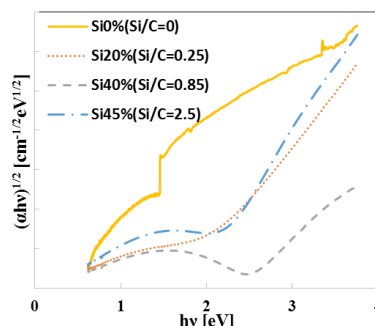


図3. Si添加量を変更したp型Si添加a-C

## 半導体薄膜の Tauc-plot

しかし、Si<sub>40atom%</sub>( $E_g=2.5$  eV)の Si 添加 a-C は高い半導体性を示すが、添加量の低い Si<sub>20atom%</sub>( $E_g=1.5$  eV)では、炭素比上昇に伴い、sp<sup>2</sup>炭素不純物が多く存在するため、半導体性が非常に低くなる結果となった。そこで、低ギャップの Si 添加 a-C 半導体実現のため、さらに高濃度の Si を添加、Si を 45 atom%まで添加、Si クラスタが顕著に生成するまで Si を添加した結果、sp<sup>2</sup>炭素不純物を低減しつつ、低い光学ギャップ( $E_g=1.8$  eV)及び、ホール効果測定においてキャリア密度  $10^{14}$  cm<sup>-3</sup> を有する p 型 Si 添加 a-C 半導体の作製に成功した。

図 4 に、Si を 45atom%添加した B ドープ Si 添加 a-C を電気化学電極として用い、Xe lamp(10 mW cm<sup>-2</sup>)照射下、0.2M リン酸二水素ナトリウム水溶液中でのサイクリックボルタモグラムを示す。暗所下では、ボルタモグラムにも酸素発生に由来する電流のみ(水素発生電流が観測されない)が観測され、典型的な p 型半導体電極 - 電解液界面の整流応答を示した。Xe lamp 照射下では、光励起により生成したホールが水を還元し、水素生成に対応する電流応答を示す。-2.6 V vs.Ag|AgCl における還元電流値(-55 mA cm<sup>-2</sup>)より、光電変換効率は、1.63%であった。

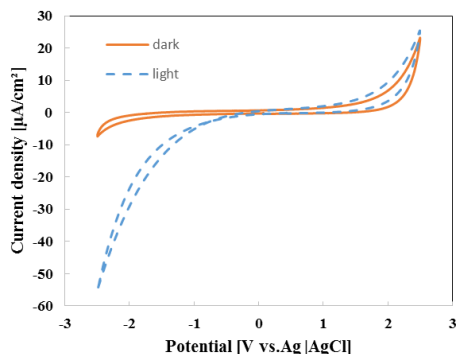


図 4. Si 添加量 45atom%の p 型 Si 添加 a-C 薄膜の 0.2M リン酸二水素ナトリウム溶液中の Xe-lamp 照射下でのサイクリックボルタモグラム

以上の結果より、光学ギャップを 2.5 eV ~ 1.8eV までコントロール可能な p 型半導体性 (キャリア密度  $10^{14}$  cm<sup>-3</sup>) Si 添加 a-C 半導体薄膜の作製に成功した。

### (2) 太陽電池セル作製による性能評価

(1)で最適化した可変光学ギャップ a-C 半導体薄膜の太陽電池への応用の可能性の検証を行った。最適化の手順として、高い半導体特性を示し pn 界面による太陽電池を構成可能なことが確認されている単結晶 Si 基板上に p 型、n 型それぞれの Si 添加 a-C 半導体を積層し、ヘテロ接合太陽電池が機能するように界面接合とバルク特性の最適化を行った。各 n 型・p 型 Si 添加 a-C を用いたヘテロ

接合太陽電池セルの機能確認 (性能最大化) ののち、Si 添加 a-C を用いたヘテロ接合太陽電池セルの作製・性能最適化を図る。

### n 型 Si 添加 a-C/p 型 Si ヘテロ接合太陽電池セル

Si 添加量 24atom%の n 型 Si 添加 a-C を p 型 Si 基板上に作製、ヘテロ接合太陽電池の発電の可能性を検証した。作製した n 型 Si 添加 a-C/p 型 Si ヘテロ接合太陽電池セルは、Xe-lamp 照射下で、90 mV の開放電圧を発生した。図 5 に n 型 Si 添加 a-C/p 型 Si ヘテロ接合太陽電池セルの AM1.5 の太陽光光源照射時における I-V 特性を示す。

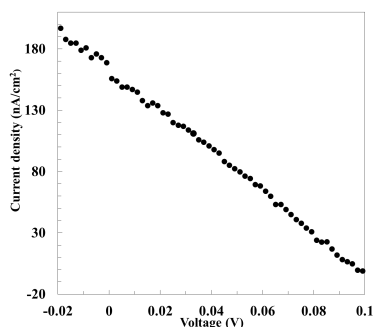


図 5. n 型 Si 添加 a-C/p 型 Si ヘテロ接合太陽電池セルの太陽電池特性

I-V 特性カーブより、短絡電流  $I_{SC}$  は  $0.16\mu A$  cm<sup>-2</sup>、開放電圧  $V_{OC}$  97 mV、曲線因子  $FF = 0.276$  であり、変換効率  $\eta$  は  $0.0000041\%$  であった。作成した n 型 Si 添加 a-C 半導体は、pn 接合界面において光照射により電子とホールを分離することが可能で太陽電池として機能する材料である

### p 型 Si 添加 a-C/n 型 Si ヘテロ接合太陽電池セル

Si 添加量 40atom%の p 型 Si 添加 a-C を n 型 Si 基板上に作製、ヘテロ接合太陽電池の発電の可能性を検証した。作製した p 型 Si 添加 a-C/n 型 Si ヘテロ接合太陽電池セルは、Xe-lamp 照射下で、161 mV の開放電圧を発生した。p 型 Si 添加 a-C/n 型 Si ヘテロ接合太陽電池セルの Xe-ランプ照射時における I-V 特性カーブより、短絡電流  $I_{SC}$  は  $0.35\mu A$ 、開放電圧  $V_{OC}$  200 mV、曲線因子  $FF = 0.214$  であり、変換効率  $\eta$  は  $0.00075\%$  であった。以上より、作成した p 型 Si 添加 a-C 半導体は、pn 接合界面において光照射により電子とホールを分離することが可能で太陽電池として機能する材料である。

今後は、とで確認できた Si 添加 a-C による pn 接合太陽電池の試作とセル性能向上にむけた接合技術の開発を行う予定である。

### (3) くし型電極による生体関連物質の高感度検出

本研究では、a-C 組成制御によるグルコース酸化活性の向上とマクロな電極構造付加

による選択性の向上を併せ、グルコースを高感度を選択検出可能なセンサーを実現することを目的とした。そこで、第1にマクロな電極構造(くし型構造)付加による検出感度および選択性向上の可能性の研究を行った。

図6に作製したB-DLC くし型電極(B-DLC IDA)のSEM像を示す。今回得られた幾何構造は  $\text{width/gap}=2.11\mu\text{m}/1.89\mu\text{m}$  となった。設計した幾何構造より、 $w$  は  $0.11\mu\text{m}$  増加、 $g$  は  $0.11\mu\text{m}$  減少した構造が得られた。作製したB-doped DLC くし型構造を図6に示す。図に示されるように、幅  $2\mu\text{m}$  の電極が、間隔  $2\mu\text{m}$  で並んだくし型構造であることが確認できる。

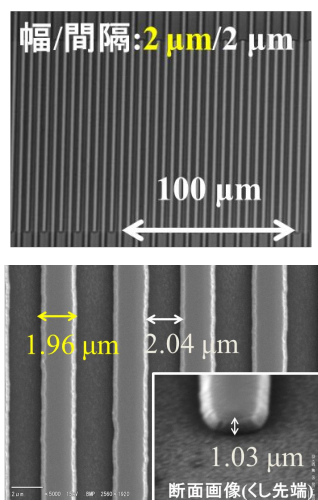


図6. B-doped DLC くし型電極の電子顕微鏡像

くし型電極の電気化学センサーとしての機能を確認するため、白金やグラッシーカーボン電極など、既存の電気化学検出に用いる電極では、酸素発生のため、検出の困難な  $\text{Ce}^{3+}$  イオンの電気化学検出を試みた。図7に  $\text{Ce}^{3+}$  の single mode と dual mode による測定結果を示す。くし型電極を  $0.1\text{ mM}$   $\text{Ce}^{3+}$  イオンの存在する電解液に浸漬し、くし型電極の片方の電極(single mode)での  $0.1\text{ mM}$   $\text{Ce}^{3+}$  イオンのサイクリックボルタモグラムにおいて、標準電位の高い  $\text{Ce}^{3+/4+}$  の酸化還元波を捉えることができた。

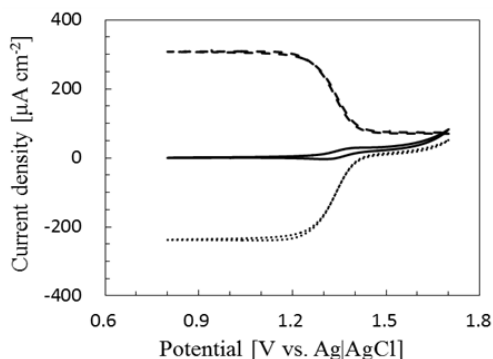


図7.  $100\mu\text{M}$   $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  溶液中の  $0.1\text{ M}$   $\text{HNO}_3$  に対するサイクリックボルタモグ

ラム。実線: generator 電極の single mode でのボルタモグラム. dual mode 測定での generator 電極(点線) と collector 電極(一点鎖線) のボルタモグラム. collector 電極の印可電位は  $1.7\text{ V}$ . 走査速度  $10\text{ mV s}^{-1}$ .

図7の点線部は collector 電極の電位を  $1.7\text{ V}$  に設定して、generator の電位を  $10\text{ mV/s}$  で掃引して得られるボルタモグラムである。図7の電流増幅率は、dual mode における  $0.8\text{ V}$  の generator での還元電流と single mode における  $1.3\text{ V}$  の generator での還元ピーク電流の比を取った値で  $66.9$  倍となる。generator と collector 間の拡散の重なりが大きいほど、電流増幅率は高くなると報告されている。collector 電極の電位を  $1.0\text{ V}$  に設定して、generator の電位を  $10\text{ mV/s}$  で掃引した dual mode の電流増幅率は、( $1.7\text{ V}$  の generator での酸化電流と single mode における  $1.42\text{ V}$  の generator での酸化ピーク電流の比)は、 $5.0$  倍であった。

$100\mu\text{M}$  の  $\text{Ce}^{3+}$  溶液に対する dual mode 測定において、generator 電極の電位掃引速度を変化させた場合の還元電流の依存性を示す。電位掃引速度を  $10$  から  $0\text{ mV s}^{-1}$  へ低下させると、電流増幅率は  $66.9$  倍から  $180$  倍に増加した。

B-DLC-IDA 電極の  $\text{Ce}^{3+}$  に対する電気化学センサー電極としての性能評価を行った。各濃度の  $\text{Ce}^{3+}$  溶液に対して、collector を  $1.7\text{ V}$  の電位に固定し、generator を  $0.8\text{ V}$  の電位に固定(電位掃引速度  $0\text{ mV s}^{-1}$ ) し、CA 測定における応答電流値をプロットしたキャリブレーションカーブを図8に示す。

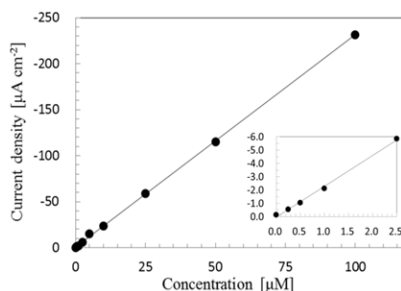


図8. dual mode 測定での generator 電極印可電位  $0.8\text{ V}$  の還元電流値 vs.  $\text{Ce}^{3+}$  濃度の較正曲線

$1.7\text{ V}$  に固定した collector 電極の応答電流から作成したキャリブレーションカーブにおけるダイナミックレンジは  $100\mu\text{M}$  から  $25\mu\text{M}$  であった。 $S/N=3$  における理論的検出限界は  $100\mu\text{M}$  であった。以上の結果より、くし形 B-DLC 電極の具現化によって、酸素発生電位を超える標準電極電位を持つ Redox 種に対して平板電極の  $100$  倍以上の低濃度まで分析可能な電気化学システムを開発することができた

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

【査読有り】

- (1) Hiroshi Naragino, Yoshiya Nagata, Keigo Okafuji, Shinpei Ohtomo, Yuta Shimizu, and Kensuke Honda, *ECS transactions*, Vol. 75 (No. 13), 153-159 (2016), "Development of Silicon and Carbon Based p-Type Amorphous Semiconductor Films with Optical Gap Variable for High-efficiency Multi-junction Solar Cells".
- (2) Shinpei Ohtomo, Hiroshi Naragino, Keigo Okafuji, Ryutaro Kobayashi, Kensuke Honda, *ECS transactions*, Vol. 75 (No. 17), 217-228 (2016), "Development of high-sensitive detection system for redox analytes having a standard potential higher than O<sub>2</sub> evolution by using micropatterned conductive boron-doped DLC electrodes".
- (3) Kensuke Honda, Kohsuke Yoshinaga and Yoshiya Nagata, *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, 5, pp. 590-597 (2016). "Amorphous Carbon-Based Semiconductor Capable of Controlling Its Optical Gap and Conductivity by Incorporating Silicon and Nitrogen Atoms".
- (4) Kensuke Honda, Hiroshi Naragino, and Yohsuke Shimai, *J. Electrochem. Soc.*, volume 161, issue 10, B207-B215 (2014), "Control of electric conductivity and electrochemical activity of hydrogenated amorphous carbon by incorporating boron atoms".

〔学会発表〕(計 8 件)

- (1) Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016)/230th ECS Meeting, (October 2-7, 2016, Honolulu (USA)), H07-2347, H. Naragino, Y. Nagata, K. Okafuji, S. Ohtomo, Y. Shimizu, and K. Honda, "Development of Silicon and Carbon Based p-Type Amorphous Semiconductor Films with Optical Gap Variable for High-Efficiency Multi-Junction Solar Cells".
- (2) Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016)/230th ECS Meeting, (October 2-7, 2016, Honolulu (USA)), M01-378, Shinpei Ohtomo, Hiroshi Naragino, Keigo Okafuji, Ryutaro Kobayashi, and Kensuke Honda, "Development of High-Sensitive Detection System for Redox Analytes Having a Standard Potential Higher Than O<sub>2</sub> Evolution By Using Micropatterned Conductive Boron-Doped DLC Electrodes".
- (3) 日本化学会第96春季年会 2016年 (26<sup>th</sup>, March 2016 京都府京田辺市 同志社大学京田辺キャンパス) 3B7-10, 大友 慎平・島井 庸佑・渡辺 紘太郎・本多 謙介“導電性DLCのくし形電極化によるO<sub>2</sub>発生を超える酸化還元電位をもつレドックス種の高感度

検出”。

- (4) 日本化学会第96春季年会 2016年 (26<sup>th</sup>, March 2016 京都府京田辺市 同志社大学京田辺キャンパス) 3PC-242, 林 紘平・山田 昌央・永田 祥弥・小林 龍太郎・本多 謙介“プラズマ化学蒸着(CVD)法を用いたナローギャップアモルファスカーボン(a-C)半導体の創製”。
- (5) Pacifichem 2015 (16<sup>th</sup>, Dec 2015 Honolulu (USA)) ID# MTL5 772, Yoshiya Nagata, Masahiro Yamada, Ryutaro Kobayashi, Kensuke Honda, "Clarification of Si added a-C characters that contribute high efficiency solar cell and improvement of its semiconductor properties".
- (6) Pacifichem 2015 (16<sup>th</sup>, Dec 2015 Honolulu (USA)) ID# MTL5 779, Kensuke Honda, Shinpei Ohtomo, Yoshiya Nagata, Masahiro Yamada, Ryutaro Kobayashi, "Response change at interdigitated array microelectrodes consist of boron-doped amorphous carbon by varying geometry for high sensitive detection of redox analytes".
- (7) SPlasma2015/IC-PLANTS2015 (30<sup>th</sup> March, 2015, Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan) C4-I-27, Kensuke Honda, Yoshiya Nagata, Masahiro Yamada, Yohsuke Shimai "Amorphous Carbon Semiconductor Capable of Controlling Its Optical Gap and Conductivity by Incorporating Two Types of Foreign Atoms". [Invited Lecture]
- (8) ISPlasma2015/IC-PLANTS2015 (30<sup>th</sup> March, 2015, Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan) C4-P-52, Yoshiya Nagata, Yohsuke Shimai, Masahiro Yamada, Kensuke Honda "Fabrication of Wide Gap Si Added a-C Semiconductor with p-Type Conduction by PlasmaEnhanced Chemical Vapor Deposition".

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: アモルファスカーボンの製造方法及びアモルファスカーボン

発明者: 本多 謙介

権利者: 国立大学法人山口大学

種類: 特許権

番号: 特願 2016-183910

出願年月日: 平成 28 年 9 月 21 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本多 謙介 (Kensuke Honda)

山口大学大学院・創成科学研究科・教授

研究者番号: 60334314