

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月16日現在

機関番号： 15501
 研究種目： 挑戦的萌芽研究
 研究期間： 2011～2012
 課題番号： 23656242
 研究課題名（和文） アモルファスカーボンナノ微粒子を用いた電気化学反応制御と高感度ガスセンサーの開発
 研究課題名（英文） Control of electrochemical reaction by amorphous carbon nano-particles and development of high-sensitive gas sensor
 研究代表者
 本多 謙介 (HONDA KENSUKE)
 山口大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号： 60334314

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、化学組成とナノサイズの形状を制御したアモルファスカーボン(a-C)電極を創製し、電気化学活性の発現メカニズムの解明を通して、環境に有害な物質（AsH₃やPH₃など）の高感度検出が可能な電気化学センサーを実現することを目的とした。原料中のホウ酸トリメチルと n-ヘキサンとの混合比変更により、キャリア密度が 10¹⁴ cm⁻³ から 1.3×10¹⁹ cm⁻³ の範囲で可変な p 型 a-C 半導体を実現した。ホウ素は水素発生時の電気化学触媒として働く。ホウ素量の制限により水素発生時の反応性抑制が可能であり、標準電位が低い Mn²⁺イオンを、排出基準(0.2 mM)以下の 0.02 mM の濃度で検出することに成功した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to create a-C surface with higher electro-catalytic activity by controlling chemical compositions and sizes of amorphous carbon nano-particles, and to establish the electrochemical method to detect hazardous materials like AsH₃ and PH₃ quantitatively. The concentration of dopant atoms showing p type conductivity was tried to be controlled. Carrier concentration of p-type a-C could be successfully varied in the range from 10¹⁴ cm⁻³ to 1.3×10¹⁹ cm⁻³ by changing the ratio of trimethyl borate and n-hexane used as source materials. Boron atoms were confirmed to serve as an electro-catalyst for hydrogen evolution. Since the reactivity to hydrogen evolution could be suppressed at a-C films doped with tiny amounts of boron, Mn²⁺ ion could be efficiently reduced. It results that Mn²⁺ ion at extremely lower concentration (0.02 mM) than discharge standard (0.2 mM) could be detected quantitatively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：プラズマ材料、電気化学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：ダイヤモンドライクカーボン、半導体、センサー材料

1. 研究開始当初の背景

アモルファスカーボンはさまざまな基板上に成膜可能であり、テフロン等の多孔質膜

表面へのコーティングにより気体透過性電極を実現できる。この気体透過性 a-C 電極を用いると、貴金属電極では不可能な有毒ガス

を検出する電気化学センサーを実現できる。

電気化学的原理を用いた毒性・可燃性ガスの微量検出センサーは、半導体製造工場において人体に有毒な半導体材料ガス（アルシン、ホスフィン、ジボラン）を検出する目的で広く利用されている。電子部品・デバイス製造に携わる事業所は全国で 4000 ヶ所にのぼり、半導体製造現場には、ガス種に応じたガスセンサーの設置が義務付けられている。安全性基準の高度化へ対応し、生活空間をクリーンに保つ重要な技術分野である。

現在、半導体材料ガスセンサーのうち、ジボランセンサーは、貴金属電極と有機電解液を組み合わせて実用化されている。このセンサーは環境測定のための連続モニタリング中に、大気中の水分が混入するため安定性が低く、定期的に電極（あるいは測定ユニット）の交換が必要である。申請者らは、a-C 微粒子を堆積させた気体透過性電極と硫酸溶液を組合せた電気化学ガスセンサーにより、200 ppb のジボランの検出に成功した。このセンサーは水溶液を用いているので、安定性が非常に高い。

2. 研究の目的

a-C の平滑なバルク表面はジボラン応答性を示さない。したがって、気体透過性 a-C 電極のジボラン酸化活性には、a-C 微粒子サイズと化学組成（窒素密度、 sp^2/sp^3 炭素比）が深く関与していると考えられる。

本研究課題では、化学組成とナノサイズの形状を制御したアモルファスカーボン(a-C)電極を創製し、その電気化学活性の評価を通して、a-C の示す特異的な電気化学活性の発現メカニズムを解明するとともに、a-C の化学組成・形状により、種々の電気化学反応を制御する手法を確立することを目指す。また、有毒ガスであるアルシン(AsH_3)やホスフィン(PH_3)など、環境に有害な物質を高感度に検出可能な電気化学センサーの実現を目的とした。

(1) a-C 化学組成による反応制御法の確立

導電性 a-C のキャリア密度制御目標：

$$10^{13} \sim 10^{21} / \text{cm}^3$$

sp^2/sp^3 比制御目標：10/90～90/10

本研究では、a-C への導電性賦与に用いる不純物原子（窒素原子）は、電気化学触媒反応の活性点として機能する可能性がある。そこで、以下の p・n 型 2 つの様式における不純物原子の種類、濃度を制御した a-C を作成し、電気化学反応性を検証する。

① n 型不純物原子—窒素(N),リン(P)

② p 型不純物原子—ホウ素(B)

キャリア密度は、Si 半導体の制御範囲と同レベルの、半導体から半金属領域に対応する $10^{13} \sim 10^{21} / \text{cm}^3$ に制御可能な成膜技術を構築する。a-C は、 sp^2 炭素と sp^3 炭素を含むアモ

ルファス材料である。 sp^2/sp^3 炭素比は硬度やバンドギャップなどの物理特性、さらには電位窓や二重層容量などの電気化学特性に強く影響を及ぼす。そこで、 sp^2/sp^3 炭素比を厳密に制御した a-C を作成し、ジボラン(B_2H_6)、アルシン(AsH_3)、ホスフィン(PH_3)に対する反応性など電気化学反応性の評価を行い、化学組成による反応制御法を確立する。

(2) 環境汚染物質を高感度に検出可能な電気化学ガスセンサーの開発

環境汚染物質の検出限界濃度目標値：

5 ppb (AsH_3), 300 ppb (PH_3),

0.2 mM (Mn^{2+})

a-C の化学組成・形状による触媒活性制御法を基盤として、最適化した化学組成・形状で作製した高い触媒活性を示す a-C 電極により、アルシン(AsH_3)、ホスフィン(PH_3)、マンガンイオンを、それぞれの排出基準値、5 ppb、300 ppb および 0.2 mM で選択検出可能な a-C 電気化学センサーの実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) a-C 化学組成による反応制御法の確立

申請者は、a-C 薄膜に、窒素原子を添加することにより、窒素ドーパ a-C 薄膜の作製に成功している。また、炭素・ホウ素源としてトリメトキシホウ素を用いて a-C 薄膜を成膜すると、シート抵抗値 100 k Ω 程度のホウ素ドーパ a-C 薄膜が得られることも確認している。

① p・n 型 a-C キャリア密度制御法の確立

ホウ素(B)およびリン(P)を不純物原子としてキャリア密度を目標値である $10^{13} \sim 10^{21} / \text{cm}^3$ に制御するための a-C 成膜条件の確立を図る。具体的には、a-C 成膜時の

I. 炭素源濃度、II 炭素源温度、

III. プラズマ出力、IV 基板温度

の 4 つの条件の最適を図り、ホウ素(リン)ドーパ量制御手法の確立を図る。

② sp^2/sp^3 炭素比制御手法の確立

現在作成可能な a-C は sp^2/sp^3 比が 60/40 と sp^2 成分の多い組成である。ノンドーパ a-C では高温条件下 ($\sim 300^\circ\text{C}$) での成膜において高硬度薄膜(低 sp^2 成分比)を作製可能である。そこで、 sp^3 炭素比を上げた a-C の創製に向け、基板温度制御装置付のプラズマ CVD 装置により、

I. 300°C 程度の高温度基板条件での a-C 成膜条件の最適化を図る。

(2) a-C を用いた電気化学センサーの開発

a-C における環境汚染物質（アルシン(AsH_3)、ホスフィン(PH_3)、マンガンイオン(Mn^{2+})) に対する電気化学反応性を検証し、それぞれの排出基準値、5 ppb、300 ppb および 0.2 mM で検出可能な感度を示す、高い触媒活性を示す a-C 薄膜の実現に向け

a-C の化学組成・形状の最適化を図る。

4. 研究成果

(1) ボロンドープアモルファスカーボン (B-DLC) の作製

13.56 MHz の高周波(RF)自己バイアスシステムを用いたプラズマ化学気相成長(chemical vapor deposition; CVD)装置(model BP-10, SAMCO Co., Ltd.)を使用して、B-DLC 膜を導電性 n-Si (1 1 1)基板(< 0.02 Ω cm, SUMCO Co., Ltd.)上に作製した。炭素源およびホウ素源として n-hexane と trimethyl borate (B(OCH₃)₃, TMOB)の混合溶液を使用した。原料ガスとして室温に保った n-hexane と TMOB の混合溶液(炭素・ホウ素源)の蒸気(5 mL min⁻¹)をチャンパーに導入した。a-C 膜中のホウ素濃度は、n-hexane と TMOB の混合比で調節した。成膜中に原料ガスと同時に Ar を導入した。膜厚 0.68 μm の B-DLC 膜は、Si 基板を設置したカソードに RF 出力 350 W を印加することによって成長させた。B-DLC 中の sp²炭素量は、基板温度により制御した。sp²炭素量 82 % の B-DLC 5 膜は基板温度 300°C、sp²炭素量 75 % の B-DLC 4 膜は基板温度 275°Cにおいて作製した。成膜時チャンパー圧力は 40 Pa、成膜時間は 40 min。

(2) ボロンドープアモルファスカーボンの電気特性

B-DLC 膜の電気特性を明らかにするために、Hall 効果測定(Van der Pouw 法)を行った。Table 1 に Hall 効果測定により得られた結果と、XPS 測定により得られた sp²炭素量を示す。Table 1 の B-DLC 1 および B-DLC 4 より、Ar の導入によって、B-DLC 薄膜は n 型伝導から p 型伝導に変化した。さらに、原料ガス中のホウ素濃度を 0.625 から 2.500 atom% に増加させた時、キャリア密度が 0.49×10¹⁸ から 12.9×10¹⁸ cm⁻³ に増加させることに成功した。このキャリア密度は、制御目標値の 10²¹ cm⁻³ には及ばないものの高レベルに制御可能である。伝導型の変化とホウ素濃度の増加に伴うキャリア密度の増加は、a-C 中のホウ素原子がアクセプタとして機能し、キャリアであるホールを供給していることを意味する。Ar 流量 100 sccm、原料ガス中ホウ素濃度が 2.500 atom% の時、B-DLC 4 の電気抵抗率は 6.36×10⁻² Ω cm を示した。

Z. Q. Ma らは、1.2 atom% のホウ素原子を含む DLC 膜の体積抵抗率を 10 Ω cm と報告している。この結果と比較すると、本研究の B-DLC 4 膜は、ホウ素濃度の値(B/C = 1.300 atom%)が近いにもかかわらず体積抵抗率(6.36×10⁻² Ω cm)が非常に小さい。Z. Q. Ma らの報告した B-doped DLC 膜の sp²炭素量は、Raman スペクトルの G-band の位置(ωG = 1521 cm⁻¹)から、約 46.7 atom% と推定される

(sp² content = 1 - {0.24 - 48.9 (ωG - 0.158)})より)。そのため、本研究の B-DLC 膜の高い導電性には、高い sp²炭素量(約 75 atom%)が寄与していると考えられる。アモルファスカーボン中における伝導機構は、伝導に関わる隣接したサイト間でキャリアがホッピングするホッピング伝導である。アモルファスカーボン中の sp²炭素量が増加すると、キャリアのホッピング距離が短くなることが報告されている。ホッピング距離が短くなると、キャリア移動度は増加する。Table 1 より、sp²炭素量が 68.02 atom% の B-DLC 1 の体積抵抗率は 5.93 Ω cm、sp²炭素量が 75.27 atom% の B-DLC 4 の体積抵抗率は 6.36×10⁻² Ω cm、sp²炭素量が 82.15 atom% の B-DLC 5 の体積抵抗率は 5.91×10⁻² Ω cm を示し、sp²炭素量の増加に伴い導電性が増加した。sp²炭素量が 82.15 atom% の B-DLC 5 は、電極としての耐腐食性が著しく低下する。そのため、膜の耐久性を損なわない 75 atom% まで sp²炭素量を多くすることによって移動度を高くし、高い導電性を実現することが可能である。

Table 1. B-DLC の Hall 効果測定結果

Sample	Concentration of dopant (atom %)	Ar flow rate (sccm)	Carrier density (10 ¹⁸ cm ⁻³)	Mobility (cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	Resistivity (Ω cm)	Hall coefficient (cm ³ C ⁻¹)	Type	sp ² / (sp ² + sp ³) (atom%)
non-doped DLC	0	100	0.09	17.3	36.4	-64.29	n	75.47
B-DLC	2.500	0	2.93	3.60	5.93	-21.30	n	68.02
B-DLC	0.625	100	0.49	13.1	0.96	+12.68	p	74.63
B-DLC	1.875	100	9.71	12.4	0.51	+0.64	p	75.74
B-DLC	2.500	100	12.9	7.59	6.36 × 10 ⁻²	+0.48	p	75.27
B-DLC*	2.500	100	21.6	4.83	5.91 × 10 ⁻²	-0.28	n	82.15
N-DLC	50	0	0.57	7.52	1.44	-10.85	n	74.35

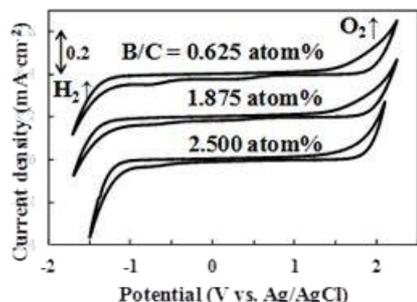
(3) ボロンドープアモルファスカーボンの電気化学特性～水素・酸素発生の過電圧～

B-DLC 電極の電気化学特性を明らかにするために、水素・酸素発生に対する反応性の評価を行った。Fig. 1 に 0.1 M H₂SO₄ 中における各電極のサイクリックボルタモグラムを示す。本研究において、電流密度が +0.2, -0.2 mA cm⁻² に達する電極電位を、それぞれ、酸素発生電位および水素発生電位と定義した。0.1 M H₂SO₄ 中におけるグラシーカーボン(GC)電極の酸素発生電位は 1.55 V であった。N ドープ a-C (N-DLC)、B-DLC 4 (B/C = 2.500 atom%)、ボロンドープダイヤモンド(BDD)電極の酸素発生電位は、それぞれ、1.94, 2.12, 2.04 V であった。これら電極の酸素発生に対する過電圧は、GC 電極と比較して約 500 mV 大きい。そのため、これらの電極を使用することで、酸素発生に阻害されることなく、酸素発生電位(E₀ = 1.23 V vs. SHE)よりも高い標準電位を持つ電気化学活性種の検出を行うことが可能である。O₂ 発生反応は吸着 OH 基のような表面吸着中間体を含む機構で進行する。そのため、B-DLC 電極は、BDD 電極と同様に OH 基の吸着に必要な表面サイトが少ないものと考えられる。

一方、N-DLC、B-DLC 4 (B/C = 2.500 atom%)、BDD 電極の水素発生電位は、それぞれ、-1.75

V、-1.41 V、-0.83 V と大きく異なった。この3つの電極は、膜中のホウ素原子濃度が大きい電極ほど水素発生に対する過電圧が低い。Figure 1. 0.1 M H₂SO₄ 中における B ドープ a-C のサイクリックボルタモグラム

水素発生の反応性がホウ素量に比例する可能性を検証するために、B-DLC 中ホウ素量



を変化させ、水素・酸素発生に対する反応性を検証した。Fig. 1 に示すように、B-DLC 膜の成膜時の原料ガス中ホウ素濃度を B/C = 0.625 から 2.500 atom% に増加させることにより、水素発生反応の開始電位が -1.61 から -1.41 V vs. Ag|AgCl へ貴電位側にシフトした。つまり、ホウ素濃度の増加に伴い、水素発生反応に対する過電圧が約 200 mV 減少した。一方、B/C = 0.625 から 2.500 atom% の原料ガス中のホウ素濃度の増加において、酸素発生反応に対する過電圧は僅か 30 mV しか減少しなかった。ホウ素の量は水素発生反応のみに強く影響すると考えられる。

B-DLC 膜中のホウ素原子が、酸素・水素発生反応の反応速度に与える影響を明らかにするために、1.0 M H₂SO₄ 中における過電圧と電流値の対数から Tafel plot を作成した。電位走査速度は 50 mV min⁻¹ とした。本研究では、H₂ 発生における過電圧 $\eta = 0$ を 0 V vs. SHE (2H⁺ + 2e⁻ → H₂ の標準電位)、O₂ 発生における過電圧 $\eta = 0$ を 1.23 V vs. SHE (O₂ + 4H⁺ + 4e⁻ → 2H₂O の標準電位) と設定した。Tafel plot の近似曲線より、水素・酸素発生に関する交換電流密度 i_0 および移動係数 α を算出した。交換電流密度 i_0 は標準速度定数、移動係数 α はポテンシャルエネルギーの障壁の対称性に関するパラメータである。Table 2 に Tafel plot の近似曲線より算出した交換電流密度 i_0 および移動係数 α を示す。

酸素発生反応に関して、ホウ素量に対して移動係数 α は 0.14 - 0.15 の値をとり、ほぼ一定であった。また、交換電流密度 i_0 は、ホウ素量の増加に対して 2.63×10^{-6} から

Table 2. B-DLC 上での水素・酸素発生における交換電流密度 i_0 と移動係数 α

B/C ratio (atom %)	H ₂ evolution			O ₂ evolution		
	i_0 (10 ⁻⁸ A cm ⁻²)	slope ⁻¹ (mV dec ⁻¹)	α	i_0 (10 ⁻⁶ A cm ⁻²)	slope ⁻¹ (mV dec ⁻¹)	α
0.625	1.47	336	0.18	2.63	415	0.14
1.875	2.14	339	0.17	3.53	405	0.15
2.500	37.0	413	0.14	5.08	418	0.14

5.08×10^{-6} A cm⁻² まで僅かに増加した。B-DLC 膜中のホウ素原子は酸素発生速度には、影響を与えないことを意味する。一方、水素発生反応に関して、膜中ホウ素量が 0.625 から 2.500 atom% へと増加に伴い移動係数は 0.18 から 0.14 へ僅かに減少し、交換電流密度 i_0 は 1.47×10^{-8} から 3.70×10^{-7} A cm⁻² へと一桁以上増加した。この水素発生に対する交換電流密度 i_0 の増加量は、酸素発生に対する交換電流密度の増加量と比較して非常に大きい。これは、B-DLC 膜中のホウ素量の増加に伴って水素発生の反応速度定数が大きく向上したことを示す。

原料ガス中のホウ素濃度の増加に伴い、水素発生に関する移動係数 α はほとんど変化せず、交換電流密度 i_0 は大きく増加した。つまり、ホウ素量の増加により水素発生のポテンシャルエネルギーの対称性は変化せずに、反応の活性化エネルギーが小さくなっていることを意味する。つまり、ホウ素原子はプロトンの還元反応に対して電気化学触媒として働いている。そのため、膜中ホウ素量の制御により、B-DLC 電極の卑側の電位窓を拡張することで、Mn^{2+/0} などの低い標準電位を持つ金属イオンの検出が可能である。B-DLC 2 電極は水素発生反応に対する過電圧が BDD 電極よりも 780 mV 高いため、BDD 電極では測定できない標準電位の低い酸化還元種を測定対象とすることができる。

(4) ストリッピングボルタンメトリー法による Mn²⁺ の電気化学検出

B-DLC 電極は、膜中のホウ素量を変えることで水素発生電位を制御することが可能である。その結果、原料ガス中ホウ素濃度が B/C = 0.625 atom% の B-DLC 2 電極の水素発生反応に対する過電圧は、BDD 電極よりも 780 mV 大きい。そのため、B-DLC 2 電極は水素発生反応の干渉を受けることなく、低い標準電位を持つ電気化学活性種の検出が可能である。原料ガス中ホウ素濃度が B/C = 0.625 atom% の B-DLC 2 電極の、抵抗率と残余電流値は、それぞれ、0.96 Ω cm、0.64 μ A cm⁻² であった。これは、B-DLC 2 電極が、N-DLC 電極と比較して低いオーム損、高い検出感度を示す電極材料であることを意味する。

Mn^{2+/0} の標準電位は -1.18 V vs. SHE である。そのため、Pt や GC 電極のような従来の電極では、水素発生反応により Mn^{2+/0} の反応を観測することは不可能である。本研究において、水溶液中の Mn²⁺ イオンの検出はストリッピングボルタンメトリーを用いて行った。前電解として電極電位を -4 V vs. Ag|AgCl で 1 min 保持し、溶液中の Mn²⁺ を電極表面上に Mn⁰ として析出させた後、走査速度 50 mV s⁻¹ で

-1.25 から 0 V vs. Ag|AgCl まで走査を行った。

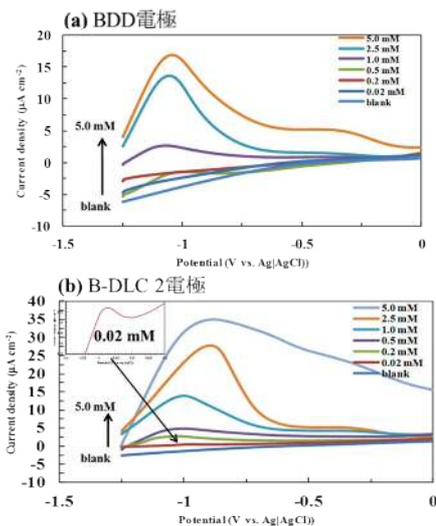
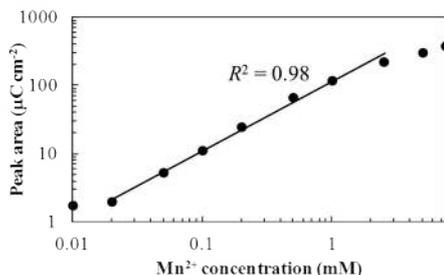


Figure 2. (a) BDD, および, (b) B-DLC 2 電極上における $Mn^{2+/0}$ のstrippingボルタモグラム析出した Mn^0 が Mn^{2+} へ酸化され溶出する際の、strippingピーク面積を記録した。Fig. 2 に(a) BDD 電極および(b) B-DLC 2 電極上における各濃度の Mn^{2+} のstrippingボルタモグラムを示す。

Figure 3. B-DLC 2 電極上におけるstrippingピーク面積の Mn^{2+} 濃度依存性



BDD 電極では、 Mn^{2+} イオン濃度が 0.2 mM 以下において、strippingピークを明瞭に観察することは不可能であった。そのため、BDD 電極は、排出基準(0.2 mM)以下の Mn^{2+} イオンをモニタリングするための電気化学センサーに応用することは不可能である。一方、水素発生反応に対する過電圧が BDD 電極よりも 780 mV 大きい B-DLC 2 電極は、水素発生反応の干渉が少ないため排出基準以下の 0.02 mM まで検出可能であった。B-DLC 2 電極のstrippingピークの Mn^{2+} 濃度に対するピーク面積値を Fig. 3 に示す。ピーク面積値が Mn^{2+} 濃度に比例する領域は、0.02 から 2.5 mM であった(ダイナミックレンジ: 2 桁)。

膜中のホウ素量を制御することで廃水中の Mn^{2+} イオンを高感度に定量することを可能とする、B-DLC 電極を用いた電気化学システムの開発に成功したと結論づけられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Kensuke Honda, Akira Nakahara, Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Sakuya Tanaka, "High Sensitive Amperometric Detection of Glucose using Conductive DLC Electrode in Higher Potential Region" ECS transactions, 査読有, Vol. 50 (12), 377-383, (2012).
- ② Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Seiji Tatsuta, Kensuke Honda, "Improvement of Conductivity by incorporation of Boron atoms in Hydrogenated Amorphous Carbon Films fabricated by Plasma CVD methods and its Electrochemical Properties", ECS transactions, 査読有, 41 (20), 59-68 (2012).
- ③ Suzuko Yamazaki, Yuhei Fujiwara, Shinya Yabuno, Kenta Adachi, Kensuke Honda, "Synthesis of porous platinum-ion-doped titanium dioxide and the photocatalytic degradation of 4-chlorophenol under visible light irradiation", Applied Catalysis B: Environmental, 査読有, Vol. 121-122 (2012) pp.148-153.
- ④ Tomohisa HAYASHI, Ikuo SAKURADA, Kensuke HONDA, Shigeyasu MOTOHASHI and Kazuo UCHIKURA, "Electrochemical Detection of Sugar-related Compounds Using Boron-doped Diamond Electrodes" Analytical Sciences, 査読有, Vol. 28 (2012) No. 2 pp.127-133.
- ⑤ Kenta Adachi, Tomohiro Mita, Shohei Tanaka, Kensuke Honda, Suzuko Yamazaki, Masaharu Nakayama, Takeyosi Goto, Hiroshi Watarai, "Kinetic characteristics of enhanced photochromism in tungsten oxide nanocolloid adsorbed on cellulose substrates, studied by total internal reflection Raman Spectroscopy", RSC Advances, 査読有, 2, 2128-2136, (2012).
- ⑥ Yoriko Tanaka, Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Akira Nakahara, Takeshi Kondo, Akira Fujishima, Kensuke Honda, "Controllable Electrochemical Activities by Oxidative Treatment toward Inner Sphere Redox Systems at N-doped Hydrogenated Amorphous Carbon Films" International Journal of Electrochemistry, 査読有, Vol. 2012, Article ID 369130, 14 pages, 2012.
- ⑦ Kensuke Honda, Masayoshi Yoshimatsu, Koichi Kuriyama, Ryosuke Kuwabara, a Hiroshi Naragino, Kosuke Yoshinaga, Takeshi Kondo, Akira Fujishima, "Electrically-Switchable, Permselective Membranes Prepared from Nano-structured

N-doped DLC "Diamond and Related Materials, 査読有, 20, 1110-1120, (2011)

[学会発表] (計 12 件)

- ① Akira Nakahara, Hiroshi Naragino, Kousuke Yoshinaga, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Fabrication of N-Type Semiconductive Polycrystalline Diamond by incorporating Phosphorous Atoms" PRiME 2012 (10th October 2012, Honolulu, 米国) Abs. #2453.
- ② Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Enhancement of Electrical Conductivity and Electrochemical Activity of Hydrogenated Amorphous Carbon by incorporating Boron Atoms" PRiME 2012 (10th October 2012, Honolulu, 米国) Abs. #3458,
- ③ Kensuke Honda, Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, "High Sensitive Amperometric Detection of Glucose using Conductive DLC Electrode in Higher Potential Region" PRiME 2012 (9th October 2012, Honolulu, 米国) Abs. #3875.
- ④ Kohsuke Yoshinaga, Hiroshi Naragino, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Fabrication of Silicon and Carbon Based Wide-Gap Semiconductor Thin Films for High Conversion Efficiency" PRiME 2012 (9th October 2012, Honolulu, 米国) Abs. #2894.
- ⑤ Hiroshi Naragino, Kohsuke Yoshinaga, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Enhancement of Electrical Conductivity and Electrochemical Activity of Hydrogenated Amorphous Carbon by incorporating Boron Atoms", The 11th APCPST and 25th SPSM (4th October 2012, 京都), 3-P66.
- ⑥ Akira Nakahara, Hiroshi Naragino, Kousuke Yoshinaga, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Fabrication of N-Type Semiconductive Polycrystalline Diamond by incorporating Phosphorous Atoms" The 11th APCPST and 25th SPSM (4th October 2012, 京都大学桂キャンパス 京都), 3-P69.
- ⑦ Kohsuke Yoshinaga, Hiroshi Naragino, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, Kensuke Honda, "Fabrication of Silicon and Carbon Based Wide-Gap Semiconductor Thin Films for High Conversion Efficiency", The 11th APCPST and 25th SPSM (4th October 2012, 京都大学桂キャンパス 京都), 3-P70.
- ⑧ Kensuke Honda, Hiroshi Naragino, Kohsuke

Yoshinaga, Akira Nakahara, Sakuya Tanaka, "High Sensitive Amperometric Detection of Glucose using Conductive DLC Electrode in Higher Potential Region", The 11th APCPST and 25th SPSM (4th October 2012, 京都大学桂キャンパス 京都), 3-P78.

- ⑨ 榎木野宏・吉永浩亮・中原亮・本多謙介
"ホウ素ドーピング diamond-like carbon 薄膜のホウ素添加量に対する電気化学反応性" 日本化学会第92春季年会 2012年 (26th, March 2012 慶應大学日吉キャンパス 横浜市) 2H4-44.
- ⑩ 中原亮・本多謙介・榎木野宏・吉永浩亮
"不純物原子添加による n 型半導体性多結晶ダイヤモンドの作製と物理デバイスへの応用" 日本化学会第92春季年会 2012年 (26th, March 2012 慶應大学日吉キャンパス 横浜市) 2H4-46.
- ⑪ 榎木野宏, 吉永浩亮, 中原亮, 本多謙介,
"ホウ素ドーピングによる DLC 薄膜の高導電化と分極性電極としての電気化学応答性" 2011 年日本化学会西日本大会 (12th, November 2011 徳島大学工学部 徳島市) 1P-05.
- ⑫ Kensuke Honda, Hiroshi Naragino, Kosuke Yoshinaga, Seiji Tastuta, "Improvement of Conductivity by incorporation of Boron atoms in Hydrogenated Amorphous Carbon Films fabricated by Plasma CVD methods and Electrochemical Properties of the films", 220th Meeting of The Electrochemical Society (12th October 2011, Boston, 米国) Abs. #J2114.

[その他]

ホームページ等

<http://www.honda-lab.sci.yamaguchi-u.ac.jp/top.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本多 謙介 (HONDA KENSUKE)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：6033431

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：