

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(C)一般
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560699
 研究課題名（和文） エネルギー制御されたイオン衝撃によるアモルファス窒化炭素の超硬質化ダイナミクス
 研究課題名（英文） Dynamics of formation of ultra-hard thin films of amorphous carbon nitride by energy-controlled ion bombardment
 研究代表者 伊藤 治彦（ITO HARUHIKO）
 長岡技術科学大学・工学部・准教授
 研究者番号：70201928

研究成果の概要（和文）：

アルゴンなどの放電気体と炭素原子を含む気体分子を反応させると、原料分子が分解しアモルファス炭素系薄膜が形成する。特に基板ステージに外部から負の自己バイアス電圧を印加すると、放電中の正イオンが基板に引き寄せられて膜表面を衝撃し、高硬度の薄膜が得られる。この方法を用いて、本研究ではアモルファス窒化炭素、水素化されたアモルファス炭化ケイ素、の各薄膜を形成させ、イオン衝撃の化学的過程を議論した。その結果、プラズマ中のイオンが膜表面を衝撃することにより膜中の水素原子がはじき出され、それに引き続く再結合過程によって一次元的な高分子型構造が三次元的なダイヤモンド型構造へと変化し、膜硬度が上昇することが見出された。

研究成果の概要（英文）：

When the gas-phase molecules including carbon atoms are decomposed by the reaction with the discharged products of Ar etc., thin films of amorphous carbon and related materials can be formed. Particularly, mechanically-hard films can be generated by applying the negative bias voltage to the substrate, because this voltage induces the extraction of positive ions in the plasma and the bombardment of the film surface. In this project, amorphous thin films of carbon nitrides and hydrogenated silicon carbides are prepared, and the chemical process induced by the ion bombardment was studied. It was found that the hydrogen atoms in the films are scattered out by the ion bombardment and that the subsequent recombination process in the films induces the conversion of the one-dimensional "polymer-like" structure to the three-dimensional "diamond-like" structure, leading to the increase of the mechanical hardness.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：プラズマ化学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：アモルファス窒化炭素、アモルファス炭化ケイ素、硬質薄膜、プラズマ CVD

1. 研究開始当初の背景

Liu と Cohen による理論計算 (Science, 256 (1989) 841) で立方晶窒化炭素 (C_3N_4) がダイヤモンドを上回る硬度をもつと予想されて以来、窒化炭素は超硬質材料として最も有望とされている物質である。窒化炭素が硬質材料として期待されるのは、ダイヤモンドなどの sp^3 混成軌道を有する C-C 結合 (1.57 Å) に比べて C-N 結合 (1.47 Å) の結合距離が小さいため、もし C-N 結合を用いて 3 次元的な構造を構成できれば超硬質材料の形成が可能であろう、という予想に基づいている。しかし窒素含有率 20% 以上かつ硬度 20 GPa 以上を有する超硬質窒化炭素を合成することは、例えばメタンと窒素の混合気体の高周波放電など、一般に用いられている手法では不可能である。

本申請者らは BrCN のようなシアン化合物のプラズマ誘起解離励起反応を用いて、CN ラジカルを高効率で生成しそれを直接基板上に堆積させる新規な CVD 法を開発した。この方法では窒素含有率 50% 程度のアモルファス窒化炭素 ($a-CN_x$) 薄膜がきわめて容易に合成できる。さらに、基板に 100 V 程度の負の高周波電場をパルス的に印加することにより、これまでに得られていた硬度 (21 GPa) をはるかに上回る、最大 46 GPa の超硬質 $a-CN_x$ 薄膜の形成に成功した。また、BrCN などの解離反応を ECR プラズマへ応用、やはり硬度 40 GPa 以上を達成している。これらの超硬質 $a-CN_x$ 薄膜についてはいずれも、赤外スペクトルの解析などから C-N 結合の生成が確認されている。したがって、われわれが合成している $a-CN_x$ 薄膜は窒素含有率・硬度ともに、世界最高水準である。

それでは、 $a-CN_x$ の高硬度がどのようなメカニズムで達成できるのか？ また $a-CN_x$ 以外でも高硬度を有する薄膜物質が作れないか、それらの点が問題として浮かび上がった。

2. 研究の目的

以上の背景の下、本研究では以下の目的で研究を行った。

- (1) 高周波バイアス電圧印加によりアルゴンイオンを膜表面に照射、バイアス電圧に対する $a-CN_x$ の硬度および化学結合状態の依存性を調査する。
- (2) 加速器を用いた X 線吸収端近傍微細構造 (NEXAFS) スペクトルにより膜中の sp^3 結合成分を定量する。イオンビームのエネルギーに対する sp^3 結合成分の相対濃度がど

のように変化するか、に重点をおく。

(3) これまでの我々の知見では、原料に水素原子が含まれると高硬度を達成できないと考えてきた。本研究ではその点について検証を行う。

以上の検討により、超硬質アモルファス炭素系薄膜形成のためのガイドラインを確立することを目的とした。

3. 研究の方法

アルゴンなどのマイクロ波または電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマにより炭素原子を含む気体分子を分解、アモルファス炭素系薄膜を形成させた。本研究では特に、BrCN のプラズマ分解によるアモルファス窒化炭素 ($a-CN_x$) 薄膜、 CH_3CN のプラズマ分解による水素化された $a-CN_x$ ($a-CN_x:H$) 薄膜、テトラメチルシランのプラズマ分解による水素化された炭化ケイ素 ($a-SiC_y:H$) 薄膜、アセチレンのプラズマ分解による水素化アモルファス炭素 ($a-C:H$) 薄膜の形成について検討した。特に従来の知見では、原料分子に水素原子が含まれると薄膜の界面が水素原子で終端され硬質化が阻害されるとされてきた。そこで本研究では、 CH_3CN 、 $Si(CH_3)_4$ など水素原子を含む分子のプラズマ分解により、硬質の薄膜物質を得ることができるかどうかを検証した。

上記の研究と並行して、本研究ではレーザーを用いたプラズマ分光診断を行いプラズマ CVD 反応過程を詳細に検討した。すなわち、Ar のマイクロ波放電フローを用いた BrCN の分解で形成されるアモルファス窒化炭素 ($a-CN_x$) 薄膜の形成では、CN ラジカルが前駆体になることが判っている。このことを逆に利用すると、CN ラジカルの付着確率を正確に決定できる。本研究ではレーザー分光法による CN ラジカルの数密度、時間分解発光計測にもとづく流速、単位面積あたりの膜重量にもとづき、CN ラジカルの付着確率を決定した。さらに、反応系に H_2O を添加して付着確率がどのように変化するかを調べた。

4. 研究成果

- (1) マイクロ波プラズマ発生装置を用いて $a-CN_x$ 膜を作成した。Ar のマイクロ波 (2.45 GHz, 100W) 放電生成物と BrCN を真空チャンバー内で反応させて CN ラジカルを発生、Si 基板上に堆積させて $a-CN_x$ 膜を作成した。基板ステージに外部から高周波 (13.56 MHz) 電圧を印加し、負の自己バイアス電圧 ($-V_{RF}$) を発生させた。これによりプラ

ズマ中のイオン（主に Ar^+ ）が基板に引き寄せられ、膜表面をイオン衝撃（以下 IB と略記）することによって高硬度を達成させる。生成した $a\text{-CN}_x$ 膜の赤外、ラマン分光分析、超微小押し込み硬さ試験を行った。Ar 圧力 0.1 Torr の条件で最大硬度 20 GPa の $a\text{-CN}_x$ 膜が得られた。赤外吸収分光分析にもとづくと、高硬度を示す膜では水素終端構造が減少した。このことから、IB によって膜中の水素原子がはじき出されることがわかった。またラマン散乱分光分析では、IB を行わない軟質な膜ではラマンのピークは観測されず、強い蛍光のバックグラウンドが観測された。このことは一次元的な共役系が発達していることを示唆した。IB を施すと、蛍光のバックグラウンドはほぼ消失し二次元的な構造に起因する G-band と D-band が現れた。しかし、これらのピーク形状や相対強度は膜硬度に対して一定であったため、IB によってこれらの構造は変化していないと考えられる。このことから IB による水素原子のはじき出しに伴い、一次元的な構造が直接三次元的な構造へと変化し、そのために膜硬度が上昇したと考えられた。

(2) Ar のマイクロ波放電生成物によるテトラメチルシラン ($\text{Si}(\text{CH}_3)_4$;TMS) の分解反応により、水素化されたアモルファス炭化ケイ素薄膜 ($a\text{-SiC}_x\text{H}$) を形成させた。反応系から水分を除き基板ステージに高周波バイアスを印加し硬質膜を得た。ナノインデントを用いた硬さ試験を行った結果、-100 V の高周波バイアス電圧を印加した条件で、最大で 69 GPa の超高硬度を達成した。今回新たにピコデントを用いた硬さ試験ならびに兵庫県立大学の加速器 NewSubaru を用いた X 線吸収端近傍微細構造 (NEXAFS) スペクトルの観測を行った。その結果、バイアスを印加しない場合は 2 GPa 程度の軟質の膜であったものが、自己バイアス -20 V 以上で 8-10 GPa と大幅な硬度の上昇が見られた。Si 基板の硬さが 7 GPa であったことから、それを上回る硬さが得られたことになる。膜の赤外吸収スペクトルからは水素終端構造が減少、NEXAFS スペクトルからは C-C 結合の sp^2 混成軌道成分が減少していた。これらが硬質化をもたらした要因であると結論された。

(3) Ar のマイクロ波放電生成物によるアセトニトリル (CH_3CN) の分解反応で水素化されたアモルファス窒化炭素 ($a\text{-CN}_x\text{H}$) 薄膜を形成させた。基板ステージに高周波バイアスを印加したところ、やはり硬質化が見られた。ピコデントによる硬さ試験で、バイアスを印加しない条件では 1 GPa 以下、負の自己バイアス 30 V で 3 GPa 程度と、 $a\text{-SiC}_x\text{H}$ ほど急激ではないもののやはり硬質化が見られた。赤外スペクトルで水素終端

構造が減少し C-N 単結合成分が増加する傾向が見られ、これらが $a\text{-CN}_x\text{H}$ の硬質化の原因と考えられた。(2)、(3)を通し、原料中に水素原子が含まれていても硬質化が可能であり、その原因の一つに水素原子の脱離があることが判った。

(4) He の電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマを用いてアセチレン (C_2H_2) を分解し、水素化されたアモルファス炭素 ($a\text{-C:H}$) 薄膜を形成させた。XPS を用いた元素分析を行ったところ、若干量の O 原子が検出された。ところが成膜中に H_2O を添加したところ O 原子が全く検出されなくなるという意外な結果を得た。この原因は調査中である。ラマン分光分析の結果、 H_2O を添加した膜では蛍光によるバックグラウンドが消失することが見出され、 H_2O の添加により共役系の成長が阻害されたと結論された。

(5) Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の解離励起反応によって生成するアモルファス窒化炭素薄膜に関連し、前駆体である CN ラジカルの生成過程および付着確率について詳細な検討を行った。

Ar イオンからの電荷移動反応に引き続いて起こる電子との再結合反応、高速の電子との衝突による電子衝撃、Ar 準安定原子 ($\text{Ar}^3\text{P}_{0,2}$) との衝突によるエネルギー移動反応のうち、どの反応が主に CN の生成に寄与するかを調査した。そのための方法論として、反応系に少量の水蒸気を導入することで、プラズマ中の電子密度、電子温度、 $\text{Ar}^3\text{P}_{0,2}$ の数密度を意図的に変化させ、それらの変化と CN ラジカルの数密度の変化との相関を調べることで、CN の生成プロセスを検討した。電子密度と電子温度はラングミュアプローブで、 $\text{Ar}^3\text{P}_{0,2}$ と CN ラジカルの数密度はレーザー誘起蛍光 (LIF) 分光法で、反応系に水蒸気を導入した場合としない場合についてそれぞれ測定した。その結果、CN ラジカルが主として $\text{Ar}^3\text{P}_{0,2}$ との衝突によるエネルギー移動反応によって生成していると結論された。同様の手法を CH_3CN についても行い、やはり $\text{Ar}^3\text{P}_{0,2}$ からのエネルギー移動で CN が生成することが見出された。

CN ラジカルの付着確率 (s) は $s=(w/M)L/nVtA$ と表される。 M 、 L 、 t 、 A はそれぞれ CN の分子量、アボガドロ数、成膜時間、基板の面積である。CN の数密度 (n)、流速 (V)、膜重量 (w) を求めれば s を決定できる。これら 3 つのパラメータを、水蒸気を導入した場合としない場合について求め、 s の変化を調査した。その結果、 H_2O を添加しない場合の付着確率は 0.07-0.03 と Ar の圧力の上昇 (0.2-0.4 Torr) と共に減少し

た。また H₂O を添加した系では 0.10-0.05 となり、H₂O を添加しない場合に比べて系統的に高い値となった。当初 H₂O を添加した系では CN ラジカルが膜表面の水素原子引き抜き反応によって消費されるために付着確率は減少すると予想していたが、結果は予想に反していた。原因を詳しく調べた結果、Ar 圧の上昇または H₂O の添加により電子密度が減少していた。このことは Ar⁺ によるエッチングが減少したことを意味しており、付着確率がその影響を受けていることが判明した。

(6) 希ガスの ECR プラズマを用いた BrCN の解離励起機構を調べた。すなわち、(5) と同様の手法を用いて反応系に H₂O を添加して CN(B-X) 発光の強度変化を観測した。その結果、CN(B) 状態の生成機構は Ne, Ar, Kr プラズマでは高速の自由電子による電子衝撃、He プラズマでは He⁺ からの電荷移動 (He⁺ + BrCN → BrCN⁺) とそれに引き続く電子・イオン再結合 (BrCN⁺ + e⁻ → CN(B) + Br) により生成することを見出した。

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 16 件)

H. Ito, "Measurements of Density and Sticking Probability of CN(X²Σ⁺) Radicals by Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy", *Spectrochimica Acta Part A*, 67 (2007) 39-47. 査読有

H. Ito, "Mechanism of Dissociative Excitation of BrCN in Electron Cyclotron Resonance Plasma flow of He", *Chem. Phys.* 340 (2007) 197-202. 査読有

H. Ito, "Mechanisms of Dissociative Excitation of BrCN in Electron Cyclotron Resonance Plasmas of Ar and He", *J. Phys. D Appl. Phys.* 41 (2008) 085201, 1-7. 査読有

伊藤治彦

「アモルファス炭素系材料合成のためのプラズマ分子分光計測 第 1 回 発光スペクトルの測定」
New Diamond, 88 (2008) 36-38. 査読無

H. Ito and H. Saitoh, "Deposition of Mechanically Hard Amorphous Carbon Nitride Films with High [N]/([N]+[C]) Ratio", *Diamond and Related Materials*, 17 (2008) 688-691. 査読有

H. Ito,

"Production and Deposition of CN Radicals to Produce Amorphous Carbon Nitride Films with High [N]/([N]+[C]) Ratio" *Diamond and Related Materials*, 17 (2008) 692-695. 査読有

H. Ito and Y. Kawamura,

"Production of CN(B²Σ⁺) State from Dissociative Excitation Reaction of BrCN with Microwave Discharge Flow of Ar" *J. Non-Cryst Solids*, 354 (2008) 3267-3272. 査読有

H. Ito, T. Nozaki, A. Saikubo, N. Yamada, K. Kanda, M. Niibe, and H. Saitoh, "Hydrogen-Storage Characteristics of Hydrogenated Amorphous Carbon Nitrides" *Thin Solid Films*, 516 (2008) 6575-6579. 査読有

K. Kanda, J. Igaki, R. Kometani, S. Matsui, and H. Ito, "Characterization of High Nitrogen Content-Amorphous Carbon Nitride Films Using NEXAFS Spectroscopy", *Diamond and Related Materials*, 17 (2008) 1755-1758. 査読有

H. Ito, Y. Kogure, N. Ito, S. Oki, and H. Saitoh, "Hydrogenated Amorphous Carbon Nitride with Controlled Hydrogen Density – Structural Analysis and Electric Field Emission Property", *Surface and Coating Technology*, 202 (2008) 5370-5373. 査読有

伊藤治彦

「アモルファス炭素系材料合成のためのプラズマ分子分光計測 第 2 回 二原子分子のエネルギー準位」
New Diamond, 89 (2008) 45-49. 査読無

伊藤治彦

「アモルファス炭素系材料合成のためのプラズマ分子分光計測 第 3 回 二原子フリーラジカルのエネルギー準位」
New Diamond, 90 (2008) 46-51. 査読無

伊藤治彦

「アモルファス炭素系材料合成のためのプラズマ分子分光計測 第 4 回 二原子フリーラジカルのスペクトル強度」
New Diamond, 91 (2008) 48-54. 査読無

伊藤治彦
「アモルファス炭素系材料合成のためのプラズマ分子分光計測 第5回 実際の研究例」
New Diamond, 92 (2009) 44-50. 査読無

H. Ito, A. Shinohara, and H. Saitoh,
“Mechanically Hard SiC_x:H Films in Amorphous Phase”, J. Plasma and Fusion Res. Ser. 8 (2009) 1439-1442. 査読有

A. Wada, H. Araki, and H. Ito,
“Analysis of Decomposition Process of BrCN with Microwave Discharge Flow of Ar”, J. Phys. D Appl. Phys. 43 (2010) 045021, 1-7. 査読有

〔学会発表〕(計 52 件)

H. Ito,
“Deposition of Mechanically Hard Amorphous Carbon Nitride Films with High [N]/([N]+[C]) Ratio”,
NDNC2007, May 30, 2007, Osaka.

H. Ito,
“Production and Deposition of CN Radicals to Produce Amorphous Carbon Nitride Films with High [N]/([N]+[C]) Ratio”,
NDNC2007, May 30, 2007, Osaka.

伊藤治彦
“Hydrogen-Storage Characteristics of Hydrogenated Amorphous Carbon Nitrides”,
SPSM-20, 2007 年 6 月 21 日, 名古屋大学

H. Ito,
“Mechanism of Dissociative Excitation of BrCN in Electron Cyclotron Resonance Plasma of He and Ar”, ISPC-18, Aug. 30, 2007, Kyoto.

伊藤治彦
「a-CN_x:H 材料の水素吸蔵特性」
第 68 回応用物理学会学術講演会
2007 年 9 月 5 日, 北海道工業大学

H. Ito,
“Hydrogenated Amorphous Carbon Nitride with Controlled Hydrogen Density – Structural Analysis and Electric Field Emission Property”
AEPSE2007, Sep. 25, 2007, Nagasaki.

伊藤治彦
「希ガス ECR プラズマにおける BrCN の解

離励起過程」
SPP-25, 2008 年 1 月 25 日, 山口県教育会館

H. Ito
“Dissociative Excitation Process of BrCN in the ECR Plasmas of Rare Gases”
NDNC2008, May 27, 2008, Taiwan.

H. Ito, A. Shinohara, and H. Saitoh
“Mechanically Hard SiC_x:H Films in Amorphous Phase”, ICPP2008, Sep. 11, 2008, Fukuoka.

H. Ito and H. Hayashi
“Dissociative Excitation Process of BrCN in the ECR Plasmas of Rare Gases (Invited)”,
IUMRS-ICA2008, Dec. 10, 2008, Nagoya.

H. Ito, A. Shinohara, and H. Saitoh
“Mechanically Hard SiC_x:H Films in Amorphous Phase”, IUMRS-ICA2008
Dec.10, 2008, Nagoya.

R. Morohashi, T. Takahata, H. Ono, H. Saitoh, and H. Ito
“Fabrication of a-CN_x:H for Hydrogen Storage”, IUMRS-ICA2008, Dec. 10, 2008, Nagoya.

A. Wada, H. Araki, and H. Ito,
“Analysis of Decomposition Process of BrCN with Microwave Discharge flow of Ar”,
IUMRS-ICA2008, Dec. 10, 2008, Nagoya.

H. Araki, A. Wada, H. Saitoh, H. Ito,
“Sticking probability of CN radicals”,
IUMRS-ICA2008, Dec. 10, 2008, Nagoya.

和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦,
「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程 (1) CN(X)状態の生成」
第 69 回応用物理学会学術講演会
2008 年 9 月 3 日, 中部大学

福原 翔, 新木一志, 和田 晃, 伊藤治彦
「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程 (2) CN(B)状態の生成」
第 69 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 9 月 3 日, 中部大学

新木一志, 和田 晃, 齋藤秀俊, 伊藤治彦
「CN ラジカルの付着確率」
第 69 回応用物理学会学術講演会
2008 年 9 月 3 日, 中部大学

諸橋 龍, 高畑智一, 小野弘樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「アモルファス窒化炭化水素吸蔵材の生成」

第 69 回応用物理学学会学術講演会
2008 年 9 月 3 日, 中部大学

越村克明, 林 宏樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「希ガスの ECR プラズマによる C_2H_2 の解離励起反応解析」

第 69 回応用物理学学会学術講演会
2008 年 9 月 3 日 中部大学

大柿 猛, 篠原章郎, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローを用いたアモルファス炭化ケイ素膜の形成」

第 69 回応用物理学学会学術講演会
2008 年 9 月 3 日, 中部大学

②① 伊藤治彦

「DLC の合成過程の基礎」

ニューダイヤモンドフォーラム平成 20 年度
第 1 回セミナー, 2008 年 10 月 17 日, 産業
技術総合研究所 臨海副都心センター

②② 和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程の解析」

第 22 回ダイヤモンドシンポジウム
2008 年 10 月 21 日, 早稲田大学

②③ 新木一志, 和田 晃, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率」

第 22 回ダイヤモンドシンポジウム
2008 年 10 月 21 日, 早稲田大学

②④ 諸橋 龍, 戸田育民, 高畑智一, 小野弘樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「アモルファス窒化炭化水素吸蔵材の生成」

第 22 回ダイヤモンドシンポジウム
2008 年 10 月 21 日, 早稲田大学

②⑤ 和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程の解析」

第 56 回応用物理学関係連合講演会
2009 年 3 月 30 日, 筑波大学

②⑥ 新木一志, 和田 晃, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率」

第 56 回応用物理学関係連合講演会

2009 年 3 月 30 日, 筑波大学

②⑦ 大柿 猛, 戸田育民, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローを用いたアモルファス炭化ケイ素膜の形成」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

②⑧ 福原 翔, 大柿 猛, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「 CH_3CN のマイクロ波放電分解による $a-CN_x:H$ 膜の形成」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

②⑨ 越村克明, 鬼束さおり, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar の ECR プラズマによる C_2H_2 の解離励起反応解析」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

③⑩ 鬼束さおり, 越村克明, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar の ECR プラズマを用いた CH_3CN の解離励起反応解析」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

③⑪ 山元愛弓, 和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程の解析」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

③⑫ 新木一志, 和田 晃, 山元愛弓, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率」

2009 年支部合同新潟地方大会
2009 年 8 月 27 日, 新潟大学

③⑬ 大柿 猛, 戸田育民, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローを用いたアモルファス炭化ケイ素膜の形成」

第 70 回応用物理学学会学術講演会
2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑭ 福原 翔, 大柿 猛, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「 CH_3CN のマイクロ波放電分解による $a-CN_x:H$ 膜の形成」

第 70 回応用物理学学会学術講演会
2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑤ 越村克明, 鬼束さおり, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar の ECR プラズマによる C_2H_2 の解離励起反応解析」

第 70 回応用物理学学会学術講演会

2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑥ 鬼束さおり, 越村克明, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar の ECR プラズマを用いた CH_3CN の解離励起反応解析」

第 70 回応用物理学学会学術講演会

2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑦ 山元愛弓, 和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の分解過程の解析」

第 70 回応用物理学学会学術講演会

2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑧ 新木一志, 和田 晃, 山元愛弓, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率」

第 70 回応用物理学学会学術講演会

2009 年 9 月 9 日, 富山大学

③⑨ 大柿 猛, 戸田育民, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローを用いたアモルファス炭化ケイ素膜の形成」

第 23 回ダイヤモンドシンポジウム

2009 年 11 月 18 日, 千葉工業大学

④⑩ 越村克明, 鬼束さおり, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar の ECR プラズマによる C_2H_2 の解離励起反応解析」

第 23 回ダイヤモンドシンポジウム

2009 年 11 月 18 日, 千葉工業大学

④⑪ 福原 翔, 大柿 猛, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「 CH_3CN のマイクロ波放電分解による $a-CN_x:H$ 膜の形成」

第 23 回ダイヤモンドシンポジウム

2009 年 11 月 18 日, 千葉工業大学

④⑫ 新木一志, 和田 晃, 山元愛弓, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率」

第 23 回ダイヤモンドシンポジウム

2009 年 11 月 18 日, 千葉工業大学

④⑬ 工藤貴広, 大柿猛, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「高周波プラズマ CVD のよるアモルファス窒化炭素薄膜の生成」

第 23 回ダイヤモンドシンポジウム

2009 年 11 月 18 日, 千葉工業大学

④⑭ 大柿 猛, 戸田育民, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フロー中でのテトラメチルシランの分解を用いた硬質 $a-SiC_x$ 膜の形成 (1) 硬度測定と組成分析」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑮ 和田 晃, 大柿 猛, 新部正人, 田川雅人, 齋藤秀俊, 神田一浩, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フロー中でのテトラメチルシランの分解を用いた硬質 $a-SiC_x$ 膜の形成 (2) 局所構造解析」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑯ 和田 晃, 安川智之, 水谷文雄, 新部正人, 鈴木常夫, 齋藤秀俊, 伊藤治彦, 神田一浩

「DLC 膜に対する酸素プラズマエッチングの効果」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑰ 越村克明, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「Ar/ C_2H_2 の ECR プラズマ CVD における $a-C:H$ 成膜への H_2O の影響」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑱ 越村克明, 和田 晃, 新木一志, 伊藤治彦

「Ar のマイクロ波放電フローによる CH_3CN の分解過程の解析」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑲ 福原 翔, 大柿 猛, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「 CH_3CN のマイクロ波放電分解による $a-CN_x:H$ 膜の形成」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

④⑳ 新木一志, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率 1」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010 年 3 月 19 日, 東海大学

㉑ 新木一志, 伊藤治彦

「CN ラジカルの付着確率 2」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010年3月19日, 東海大学

⑤2 和田 晃, 新部正人, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦, 神田一浩

「Ga FIB-CVD 法による W 含有 DLC の作成とアニーリングによる影響」

第 57 回応用物理学関係連合講演会

2010年3月19日, 東海大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: プラズマ CVD 法を用いた硬質アモルファス SiC 薄膜の形成

発明者: 伊藤治彦、篠原章郎、齋藤秀俊

権利者: 同上

種類: 特願

番号: 2008-217770

出願年月日: 20 年 8 月 27 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

伊藤 治彦 (ITO HARUHIKO)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 70201928

(2)研究分担者

齋藤 秀俊 (SAITOH HIDETOSHI)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 80250984

(3)連携研究者

神田 一浩 (KANDA KAZUHIRO)

兵庫県立大学・高度産業科学技術研究所・

准教授

研究者番号: 20201452