

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（C）一般

研究期間：2010～2012

課題番号：22560020

研究課題名（和文） 高分解能差周波レーザー分光法にもとづくアモルファス炭素系薄膜の超硬質化機構の解明

研究課題名（英文） Elucidation of Mechanism of Film Hardening of Amorphous Carbons Based on the High-Resolution Laser Spectroscopy

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）：本研究では以下の3点について成果を得た。

- (1) アモルファス窒化炭素薄膜の窒素源の特定と高窒素含有薄膜の形成に成功した
- (2) 希ガスのECRプラズマおよびマイクロ波放電フローにおける原料分子の分解メカニズムを解明した
- (3) 基板への高周波バイアス印加に伴うアモルファス炭素系薄膜の硬質化メカニズムを解明した

研究成果の概要（英文）：The following results are obtained in this project.

- (1) The precursors of the nitrogen atoms in amorphous carbon nitride films are identified, and films possessing high-nitrogen contents are successfully fabricated.
- (2) The mechanism of the decomposition of the starting molecules are elucidated for the ECR plasma and microwave-discharge flow of rare gases.
- (3) Mechanism of the film hardening of amorphous carbon and related materials are elucidated upon the application of radio-frequency bias voltage to the substrates.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性

キーワード：プラズマプロセス、アモルファス炭素系薄膜、レーザー分光診断

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景は以下の通り。

(1) アモルファス窒化炭素薄膜の生成には一般に窒素と有機化合物の混合気体を用いられる。しかしながらこの方法には次の2つの問題があった。第一は窒素含有率

$([N]/([N]+[C])$ 比)が20%程度以下の薄膜しか得られていないことである。第二には膜の窒

素源となるラジカル種が特定されていない。本研究はCNラジカルに着目し、このラジカルがどの程度膜の窒素源になり得るかを、レーザー分光法にもとづいて詳細に解明した。研究の過程で、窒素プラズマを用いた反応系でも高窒素含有率（比の値が50%程度）の膜を再現性良く生成する手法を見出した。

(2) 原料分子のプラズマ分解はプラズマに生

成したさまざまな活性種（電子・イオン・励起原子）が関与するとされているが、実際の反応系でどれほどの程度の寄与をもつかは実証する手段がなく、あくまでも仮定の上での話であった。本研究ではプラズマで生成するラジカル種の発光スペクトルを観測し、反応系に極微量の H_2O を添加して電子温度・電子密度を変化させ、発光強度の変化と相関をとる新規な方法を考案した。その手法を希ガスのマイクロ波放電フローおよび電子サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマによって誘起された原料分子の解離励起反応に応用した。

(3) プラズマ CVD 過程を用いてアモルファス炭素系薄膜の硬質化を行う場合、基板に高周波バイアスを印加する手法がとられる。高周波バイアス印加に伴い化学構造の変化が誘起されると予想されるが、どのような変化が生じそのことがどのようにして硬質化につながるのか、実証例は乏しい。本研究では水素化されたアモルファス炭化ケイ素薄膜をとりあげ、高周波バイアスによる硬質化のメカニズムを調べた。

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究課題では各項目について次の目標を掲げた。

(1) 窒素と有機化合物の混合気体プラズマで水素化されたアモルファス窒化炭素 ($\text{a-CN}_x\text{:H}$) 薄膜について、CN ラジカルがどの程度薄膜の窒素源になるかを調べる。さらに高窒素含有率を有する合成方法を確立する。

(2) アモルファス炭素系薄膜材料の原料となる炭化水素系分子種について、マイクロ波放電フローならびに ECR プラズマにおける分解メカニズムを調査する。

(3) Ar のマイクロ波放電フローおよび ECR プラズマで誘起されたテトラメチルシラン ($\text{Si}(\text{CH}_3)_4$; TMS) の分解反応を用いて水素化されたアモルファス炭化ケイ素 ($\text{a-SiC}_x\text{:H}$) 薄膜を形成させる。基板に高周波バイアス電圧を印加し、薄膜の硬質化機構を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 次の2段階で実験を行った。

① Ar のマイクロ波放電フローを用いた BrCN の分解反応を用いた。この反応では CN ラジカルが選択的に生成することがこれまでの我々の研究で明らかになっているので、この反応系を用いて $s = N_{\text{a-CN}}/n_{\text{CN(X)}}Vt_dA$ で定義されるパラメータ s を決定した。この式で $N_{\text{a-CN}}$ は Si 基板上に膜として堆積した N 原子数、 $n_{\text{CN(X)}}$ は気相中の CN ラジカルの数密度、 V は流速、 t_d は成膜時間、 A は基板の面積である。CN ラジカルのレーザー誘起蛍光(LIF)

分光法により $n_{\text{CN(X)}}$ を、時間分解発光計測で V を求め、膜重量(w)と膜の組成分析をもとに $N_{\text{a-CN}}$ を求めた。Ar のマイクロ波放電フローによる BrCN の解離励起反応では CN ラジカルが選択的に生成するので、このときの s (s_{BrCN}) は CN ラジカルの付着確率を表す。

② 次に CH_3CN を原料にした場合および N_2 と有機化合物の混合気体放電を用いた場合のそれぞれについて s の値を求め、 s_{BrCN} と比較した。 $s \approx s_{\text{BrCN}}$ であれば薄膜の窒素源は CN ラジカルであると特定される。一方、 $s > s_{\text{BrCN}}$ であれば CN 以外のラジカルも窒素源になり得る。本研究では原料の有機化合物としてベンゼン (C_6H_6) をとりあげた。

(2) 次の3種類の実験を行った。

① Ar および He の ECR プラズマによる CH_3CN の分解反応について、 $\text{CN}(\text{B}^2\Sigma^+ - \text{X}^2\Sigma^+)$ 遷移の高分解能発光スペクトルにもとづく反応過程解析を行った。反応系に微量の H_2O 蒸気を導入して、電子のエネルギー分布を変化させて発光強度との相関を利用する新規な方法を提案した。実験には ECR 放電装置を用い、Ar または He の圧力を 3 mTorr、 CH_3CN の圧力を 1 mTorr とし、 H_2O の圧力を 0-0.6 mTorr の範囲で変化させた。 H_2O のそれぞれの圧力条件で $\text{CN}(\text{B}^2\Sigma^+ - \text{X}^2\Sigma^+)$ 遷移の高分解能発光スペクトルおよび静電プローブの測定を行った。それぞれの条件における電子密度・電子温度をもとに $\text{CN}(\text{B}^2\Sigma^+ - \text{X}^2\Sigma^+)$ の発光強度の変化を予想し、実測スペクトルの強度変化と比較することで CH_3CN の解離励起反応を検討した。また、これらの測定結果と定常状態法による $\text{CN}(\text{B}^2\Sigma^+)$ の数密度の評価から $\text{CN}(\text{B}^2\Sigma^+)$ 状態の生成過程を明らかにした。

② Ar の ECR プラズマによる TMS の分解反応について、 $\text{CH}(\text{A}^2\Delta - \text{X}^2\Pi)$ 遷移の発光スペクトルを観測し、①と同様の解析を行った。

③ Ar のマイクロ波放電フローによる TMS の分解反応について、以下の実験を行った。まず Ar の圧力が 0.2-0.4 Torr の範囲で $\text{CH}(\text{A}^2\Delta - \text{X}^2\Pi)$ 遷移および $\text{Si}(4s-3p)$ 遷移の高分解能発光スペクトルを測定した。次に Nd:YAG レーザー励起 Ti:サファイアレーザーを用いた LIF 分光計測により、 $\text{Ar}(\text{P}_0)$ の数密度を計測した。さらに静電プローブにより電子密度・電子温度を求めた。これらの計測を Ar のそれぞれの圧力条件に対して行った。Ar 準安定原子からのエネルギー移動・ Ar^+ からの電荷移動とそれに引き続く電子-イオン再結合反応・電子衝撃のそれぞれの場合について発光強度の Ar 圧力依存性を予想し、実測と比較した。

(3) 次の2種類の実験を行った。

① Ar のマイクロ波 (2.45 GHz, 60 W) 放電フ

ローによる TMS の分解生成物を Si 基板上に堆積させ、a-SiC_x:H 膜を作成した。Ar の圧力は 0.1 Torr とした。基板ステージには 13.56 MHz の高周波バイアス電圧を -V_{RF}=0-100 V の範囲で印加した。ピコデンターを用いた硬度計測、高分解能 X 線光電子分光 (XPS) を用いたピーク分離、X 線反射率 (XRR) を用いた密度計測、グロー放電発光分析 (GD-OES) を用いた膜内部の元素分布の計測を行った。

② Ar (3 mTorr) を導入しマイクロ波 (2.45 GHz, 70 W) と永久磁石を用いて ECR 放電を発生させた。下流に設置したノズルから TMS を 1 mTorr の圧力で導入し、Si 基板に a-SiC_x:H 膜を堆積させた。成膜中は基板ステージに高周波電力を印加した。バイアスの直流成分を -V_{RF} = 0 - 100 V の間で変化させた。成膜時間は評価方法により 45 - 90 min とした。ピコデンターによる硬さ試験、FT-IR およびラマン散乱分光分析、He イオンビームを用いたラザフォード後方散乱・弾性反跳分析 (RBS/ERDA) による組成分析を行った。さらに兵庫県立大学の加速器 NewSUBARU を用いた炭素 K 吸収端近傍微細構造 (C-K NEXAFS) による構造解析を行った。

4. 研究成果

(1) a-CN_x:H 薄膜の形成と窒素源の特定

① Ar のマイクロ波放電フローを用いた BrCN の分解反応を用いて CN ラジカルを生成し、レーザー誘起蛍光分光法を用いて

CN(A²Π-X²Σ⁺)遷移を観測した。スペクトルのシミュレーション解析ならびに Ar ガスのレイリー散乱強度による校正を経て、CN ラジカルの数密度を決定した。さらに流速の測定、膜重量の測定を行い、RBS/ERDA または XPS による元素分析を行って、3 (1)①項で述べた方法にしたがって s_{BrCN} の値を求めた。その結果、s_{BrCN} の値は 0.1-0.2 の範囲にあることが見出された。また、この反応系で生成した a-CN_x 膜の [N]/([N]+[C]) 比は 0.4-0.5 であることが確認された。

② Ar/CH₃CN 系および N₂/C₆H₆ 系について s を求め、これらの系で CN ラジカルが前駆体となるか否かを議論した。CN ラジカル計測には①と同様、CN(A²Π-X²Σ⁺)遷移を用いた。その他の計測も①と全く同様である。結果、Ar/CH₃CN 系の s (s = 0.21 @ P_{Ar} = 0.2 Torr) は s_{BrCN} と近い値であり Ar 圧力に対して同じ負の相関を持つことがわかった。このことから、CH₃CN の分解により作成される a-CN_x:H 膜の窒素源は CN(X²Σ⁺) であることが示唆された。一方、N₂/C₆H₆ 系では s = 0.53 @ P_{N₂} = 0.2 Torr となり、CN の付着確率よりも系統的に大きくなった。その結果、N₂/C₆H₆ 系では膜として取り込まれ

た N 原子のうち CN ラジカルに由来するものは 35-50% 程度であると見積もられた。反応速度論を用いた解析により、CN の他に、N₂ の放電で生成した N 原子が CN と同程度の寄与をすることを見出した。以上により、N₂/C₆H₆ 系では CN と N 原子が同程度の寄与で膜の窒素源になると結論された。以上の解析方法は膜の窒素源を特定する有力な手法となり得る。

本研究を遂行する過程で、N₂ と有機化合物の混合気体放電で生成する a-CN_x:H 薄膜について、高 [N]/([N]+[C]) 比を得る一般的な手法を見出した。すなわち本研究では N₂ のマイクロ波放電フローに微量の C₆H₆ を添加し、放電部より約 15 cm 下流で薄膜を堆積させており、XPS および RBS/ERDA による元素分析にもとづき、[N]/([N]+[C]) = 0.5 が再現性良く得られた。このような高窒素含有率が得られた理由は、マイクロ波放電で生成する炭化水素ラジカルと CN ラジカルとの相対濃度がフローの下流に行くにしたがって変化することによると推察された。C₆H₆ の代わりに CH₃CN および (CH₃)₂CO を原料に用いても全く同様の結果が得られた (後者の場合には O 原子が膜中に 12% 程度含まれる) ので、本手法は高 [N]/([N]+[C]) 比を得る一般的な方法になり得る。

(2) 希ガス ECR プラズマおよびマイクロ波放電フローにおける原料分子の分解メカニズム

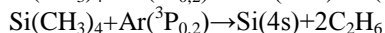
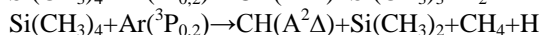
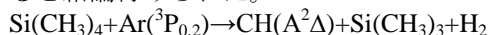
① Ar および He の ECR プラズマにおける CH₃CN の分解反応を用い、CN(B²Σ⁺-X²Σ⁺)遷移の高分解能発光スペクトルを測定した。3 (2)①項で述べた方法により、CN(B²Σ⁺)状態の主な生成過程は、Ar プラズマの場合は電子衝撃、He プラズマの場合は電子衝撃及びイオン-電子再結合反応の両方の可能性があることと結論された。

② Ar の ECR プラズマにおける TMS の解離励起過程を調べた。CH(A²Δ-X²Π)遷移の発光スペクトルを観測した。3 (2)①項で述べた方法により、CH(A²Δ)状態の生成過程は以下の電子衝撃反応であると結論された。

$$\text{Si}(\text{CH}_3)_4 + e^- \rightarrow \text{CH}(\text{A}^2\Delta) + \text{Si}(\text{CH}_3)_3 + \text{H}_2,$$
$$\text{Si}(\text{CH}_3)_4 + e^- \rightarrow \text{CH}(\text{A}^2\Delta) + \text{Si}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_4 + \text{H}$$
本研究で用いた方法は反応速度定数を用いずに済み、しかも閾エネルギーが 3 eV 以上異なると区別できるため、精度の高い解析が可能である。

③ Ar のマイクロ波放電フローに誘起された TMS の解離励起反応により CH(A²Δ-X²Π)遷移および Si(4s-3p)遷移の高分解能発光スペクトルを測定した。CH(A²Δ)状態および Si(4s)状態の生成過程の検討を行うために、Ar 導入圧力を変化させてプラズマパラメータ (Ar 準安定原子の数密度、電子温度および電子密

度)を意図的に変化させ、 $\text{CH}(\text{A}^2\Delta\text{-X}^2\Pi)$ 遷移および $\text{Si}(4s\text{-}3p)$ 遷移の発光強度を変化させた。結果、 $\text{CH}(\text{A}^2\Delta)$ 状態および $\text{Si}(4s)$ 状態は以下のエネルギー移動反応で支配的に進行していると結論付けられた。



(3) 硬質 a-SiC_x:H 薄膜の形成と高周波バイアスによる化学構造変化の解明

① Ar のマイクロ波放電生成物による TMS の分解反応を用いて a-SiC_x: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硬質膜を得た。ピコデーターを用いた硬さ試験を行った結果、 $-V_{\text{RF}}=0\text{-}20\text{ V}$ の範囲で硬度が急に増加し ($2.5\pm 0.5\text{ GPa} - 8\pm 1\text{ GPa}$)、 20 V 以上では硬度の上昇はゆるやかであった ($8\pm 1\text{ GPa} - 10\pm 1\text{ GPa}$)。XPS を用いた元素分析では C/Si 比はほぼ 1 であった。さらに C1s および Si2p 準位に対する高分解能 XPS の計測を行い、それらを C-C、C-Si、C-O、Si-O および Si-Si の結合を用いてピーク分離を行った。その結果、高周波バイアスを印加すると C-C 結合の割合が減少し C-Si 結合の割合が上昇すること、Si2p のピーク形状にはあまり変化がないこと、が見出された。これにより、C-Si 結合の増加により膜の硬質化が生じると推定された。さらに XRR の解析により、膜の密度は $-V_{\text{RF}}=0\text{ V}$ で $1.2\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ から $-V_{\text{RF}}=100\text{ V}$ で $2.2\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ と上昇し、硬度と正の相関が確認された。さらに GD-OES の計測により、不純物として観測された O 原子は膜表面に偏在すること、また高バイアス電圧では基板との界面から膜の内部に Si 原子が浸み出しており、それが Si-Si の成分が検出された原因であると推定された。

② Ar の ECR プラズマにより誘起された TMS の分解反応を用いて a-SiC_x:H 薄膜を作成した。基板に高周波バイアスを印加して、硬質膜を形成させた。RBS/ERDA による組成分析を行った結果 C/Si 比 1.6-2.0 を得た。C-K NEXAFS の測定・解析を行い、C-C 結合の増加により薄膜が硬質化することを見出した。この結果を①と比較すると、C/Si 比の違いにより膜の硬質化メカニズムが異なることが見出された。すなわち ECR の場合のような炭素に富んだ薄膜では C-C 結合の増加により硬質化が引き起こされるのに対し、マイクロ波放電フローの場合のように Si に富んだ薄膜では C-Si 結合の増加により硬質化が誘起される。

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 13 件)

[1] H. Ito, S. Onitsuka, R. Gappa, H. Saitoh, R. Roacho, K. H. Pannell, T. Suzuki, M. Niibe, and K. Kanda, "Fabrication of Amorphous Silicon Carbide Films from Decomposition of Tetramethylsilane using ECR plasma of Ar", J. Phys. Conf. Ser. 印刷中. [査読有]

<http://iopscience.iop.org/1742-6596/>

[2] H. Ito and R. Gappa, "Analysis of Dissociative Excitation Reaction of Tetramethylsilane with Microwave Discharge Flow of Ar", Trans. Mater. Res. Soc. Jpn. 印刷中. [査読有]

<http://www.mrs-j.org/pub/index.php>

[3] H. Ito, A. Yamamoto, T. Suzuki, and H. Saitoh, "Source of nitrogen atoms of amorphous carbon nitride films fabricated with microwave-plasma CVD processes", Trans. Mat. Res. Soc. Jpn. **38**(1), 31-34 (2013).

<http://www.mrs-j.org/pub/index.php>

[4] A. Wada, K. Koshimura, M. Niibe, H. Saitoh, K. Kanda, and H. Ito, "Carbon-K NEXAFS measurements of a-CN_x films formed from decomposition of BrCN in electron cyclotron resonance plasmas of He, Ne, and Ar", J. Non-Cryst. Solids, **358** 124-128 (2012). [査読有] doi:10.1016/j.jnoncrysol.2011.09.011

[5] H. Ito, H. Araki, A. Wada, A. Yamamoto, T. Suzuki, and H. Saitoh, "Sticking Probability of CN(X²Σ⁺) Radicals onto Amorphous Carbon Nitride Films Formed from the Decomposition of BrCN Induced by the Microwave Discharge Flow of Ar", Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **86** 256-265 (2012). [査読有]

doi:10.1016/j.saa.2011.10.033

[6] H. Ito, S. Onitsuka, and K. Koshimura, "Analysis of dissociative excitation reactions of CH₃CN with the ECR plasmas of Ar and He", Diamond and Related Materials, **24** 111-115 (2012). [査読有]

doi:10.1016/j.diamond.2011.12.029

[7] H. Ito, A. Yamamoto, H. Araki, and A. Wada, "Precursors of a-CN_x(:H) films from the decompositions of BrCN and CH₃CN with the discharged products of Ar", Diamond and Related Materials, **24** 121-125 (2012). [査読有].

doi:10.1016/j.diamond.2011.12.026

[8] H. Ito, K. Koshimura, S. Onitsuka, K. Okada, T. Suzuki, H. Akasaka, and H. Saitoh, "Dissociative Excitation of C₂H₂ in the Electron Cyclotron Resonance Plasma of Ar: Production of CH(A²Δ) Radicals and Formation of Hydrogenated Amorphous Carbon Films", Plasma Chem. Plasma Process, **32**(2) 231-248 (2012). [査読有]

DOI 10.1007/s11090-012-9355-2

- [9] H. Ito, H. Araki, and A. Wada, "Sticking probability of CN radicals", *Diamond and Related Materials*, **20**, 355-358 (2011). [査読有] doi:10.1016/j.diamond.2011.01.030
- [10] A. Wada, T. Ogaki, M. Niibe, M. Tagawa, H. Saitoh, K. Kanda, H. Ito, "Local structural analysis of a-SiC_x:H films formed by decomposition of tetramethylsilane in microwave discharge flow of Ar", *Diamond and Related Materials*, **20**, 364-367 (2011). [査読有] doi:10.1016/j.diamond.2011.01.020
- [11] A. Wada, T. Suzuki, M. Niibe, H. Ito, and K. Kanda, "Annealing Effect of W Incorporated Diamond-Like Carbon Fabricated by Ga Focused Ion Beam Chemical Vapor Deposition", *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** 06GG05, 1-4 (2011). [査読有] DOI: 10.1143/JJAP.50.06GG05
- [12] H. Ito and H. Hayashi, "Dissociative Excitation Process of BrCN in the ECR Plasmas of Rare Gases", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **36**(3) 499-504 (2011). [査読有] <http://www.mrs-j.org/pub/index.php>
- [13] K. Kanda, M. Okada, Y. Kang, M. Niibe, A. Wada, H. Ito, T. Suzuki, and S. Matsui, "Structural Changes in the Diamond Like Carbon Films Fabricated using Ga Focused Ion Beam Assisted Deposition by Heat Treatment", *Jpn. J. Appl. Phys.* **49**, 06GH06, 1-5 (2010). [査読有] DOI: 10.1143/JJAP.49.06GH06

[学会発表] (計 48 件)

- [1] 伊藤治彦, 山元愛弓、NURUL IZZATY BINTI ZAMRI, 鈴木常生「アモルファス窒化炭素薄膜の窒素源について」第 60 回応用物理学会学術講演会、2013 年 3 月 28 日、神奈川県工科大学
- [2] 伊藤治彦, 大柿猛、赤坂大樹、齋藤秀俊「アモルファス炭化ケイ素薄膜の硬質化メカニズム」第 60 回応用物理学会学術講演会、2013 年 3 月 28 日、神奈川県工科大学
- [3] 甲把理恵, 津留紘樹, 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解離励起反応解析」、第 26 回ダイヤモンドシンポジウム、2012 年 11 月 19 日、青山学院大学
- [4] 岡田亘太郎, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「C₆H₆ の放電分解による a-CN_x 薄膜の形成」第 26 回ダイヤモンドシンポジウム、2012 年 11 月 19 日、青山学院大学
- [5] 熊倉基起、櫻井一貴、鈴木常生、齋藤秀俊、伊藤治彦「Ar のマイクロ波放電フロー中でのヘキサメチルジシランの分解を用いた硬質 a-SiC_x:H 膜の形成」、第 26 回ダイヤモンドシンポジウム、2012 年 11 月 19 日、青山学院大学
- [6] 津田哲平, 櫻井一貴, 岡田亘太郎, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「高周波プラズマ CVD による

- る高窒素含有 a-CN_x:H 薄膜の形成」、第 26 回ダイヤモンドシンポジウム、2012 年 11 月 19 日、青山学院大学
- [7] 津留紘樹, 甲把理恵, 伊藤治彦「Ar のマイクロ波放電フローによる C₂H₂ の解離励起反応」第 26 回ダイヤモンドシンポジウム、2012 年 11 月 19 日、青山学院大学
- [8] H. Ito, S. Onitsuka, R. Gappa, H. Saitoh, R. Roacho, K. H. Pannell, T. Suzuki, M. Niibe, K. Kanda, "Fabrication of Amorphous Silicon Carbide Films from Decomposition of Tetramethylsilane using ECR Plasma of Ar", *APCPST & SPSM 2012*, 2012 年 10 月 03 日、京都大学
- [9] H. Ito, A. Yamamoto, T. Suzuki, and H. Saitoh, "Source of nitrogen atoms of amorphous carbon nitride films fabricated with microwave-plasma CVD processes", *IUMRS-ICEM2012*, 平成 24 年 9 月 28 日、パシフィコ横浜
- [10] K. Okada, T. Tsuda, H. Akasaka, H. Saitoh, H. Ito, "Fabrication of a-CN_x films by RF-plasma decomposition of BrCN", *IUMRS-ICEM2012*, 平成 24 年 9 月 25 日、パシフィコ横浜
- [11] R. Gappa and H. Ito, "Analysis of Dissociative Excitation Reaction of Tetramethylsilane with Microwave Discharge Flow of Ar", *IUMRS-ICEM2012*, 平成 24 年 9 月 25 日、パシフィコ横浜
- [12] 甲把理恵, 津留紘樹, 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解離励起反応解析」第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012 年 09 月 13 日、愛媛大学
- [13] 鬼束さおり, 甲把理恵, 岡田亘太郎, Robinson Roacho, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 新部正人, 神田一浩, 伊藤治彦「Ar の ECR 放電による有機シランの分解反応—水素化アモルファス炭化ケイ素薄膜の形成」第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012 年 09 月 13 日、愛媛大学
- [14] 津留紘樹, 山元愛弓, 甲把理恵, 伊藤治彦「Ar のマイクロ波放電フローによる C₂H₂ の解離励起反応」第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012 年 09 月 13 日、愛媛大学
- [15] 熊倉基起, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「Ar のマイクロ波放電フロー中でのヘキサメチルジシランの分解を用いた a-SiC_x:H 膜の形成」高周波プラズマ CVD による高窒素含有 a-CN_x:H 薄膜の形成」第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012 年 09 月 13 日、愛媛大学
- [16] 津田哲平, 櫻井一貴, 岡田亘太郎, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「高周波プラズマ CVD による高窒素含有 a-CN_x:H 薄膜の形成」高周波プラズマ CVD による高窒素含有 a-CN_x:H 薄膜の形成」第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012

年 09 月 13 日、愛媛大学

[17] 伊藤治彦「Ar の電子サイクロトロン共鳴プラズマにおける C₂H₂ の解離励起」第 59 回応用物理学関係連合講演会、2012 年 3 月 17 日、早稲田大学

[18] 伊藤治彦, 山本愛弓, 齋藤秀俊「アモルファスカーボンナイトライド形成における CN ラジカルの寄与について」第 25 回ダイヤモンドシンポジウム、2011 年 12 月 9 日、産業技術総合研究所 (つくば)

[19] 山元愛弓, 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 CH₃CN の分解: a-CN_x:H 膜の前駆体」Plasma2011、2011 年 11 月 24 日、金沢音楽堂

[20] 岡田巨太郎, 津田哲平, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「BrCN の放電分解による a-CN_x 薄膜の形成」Plasma2011、2011 年 11 月 24 日、金沢音楽堂

[21] 鬼束さおり, 伊藤治彦「希ガスの ECR プラズマを用いた CH₃CN の分解過程」Plasma2011、2011 年 11 月 24 日、金沢音楽堂

[22] 津留紘樹, 山元愛弓, 甲把理恵, 伊藤治彦「Ar のマイクロ波放電フローによる C₂H₂ の分解過程」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[23] 鬼束さおり, 越村克明, 伊藤治彦「希ガスの ECR プラズマを用いた CH₃CN の分解過程」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[24] 山元愛弓, 新木一志, 和田 晃, 伊藤治彦「Ar の放電フローによる BrCN および CH₃CN の分解: a-CN_x(:H)膜の前駆体」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[25] 岡田巨太郎, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「BrCN のマイクロ波放電分解による a-CN_x 薄膜の形成」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[26] 津田哲平, 岡田巨太郎, 赤坂大樹, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「高周波プラズマ CVD による高窒素含有 a-CN_x 薄膜の形成」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[27] 甲把理恵, 山元愛弓, 津留紘樹, 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解離励起反応解析」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[28] 熊倉基起, 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」第 72 回応用物理学学会学術講演会、2011 年 8 月 31 日、山形大学

[29] S. Onitsuka, K. Koshimura, H. Ito, "Analysis of dissociative excitation reactions of CH₃CN with the ECR plasmas of Ar and He", NDNC 2011, 2011 年 5 月 19 日、くにびきメッ

セ (松江市)

[30] A. Yamamoto, H. Araki, A. Wada, H. Ito, "Precursors of a-CN_x(:H) films from the decompositions of BrCN and CH₃CN with the discharged products of Ar", NDNC 2011 2011 年 5 月 19 日、くにびきメッセ (松江市)

[31] 鬼束さおり, 越村克明, 伊藤治彦「Ar と He の ECR プラズマを用いた CH₃CN の分解反応」第 58 回応用物理学関係連合講演会、2011 年 3 月 27 日、神奈川工科大学

[32] 山元愛弓, 新木一志, 和田 晃, 伊藤治彦「Ar の放電フローによる BrCN および CH₃CN の分解: a-CN_x(:H)膜の前駆体」第 58 回応用物理学関係連合講演会、2011 年 3 月 27 日、神奈川工科大学

[33] 福原 翔, 大柿 猛, 赤坂大樹, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「CH₃CN のマイクロ波放電分解による a-CN_x:H 膜の形成」第 24 回ダイヤモンドシンポジウム、2010 年 11 月 17 日、東京工業大学

[34] 大柿 猛, 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」第 24 回ダイヤモンドシンポジウム、2010 年 11 月 17 日、東京工業大学

[35] 越村克明, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「Ar の ECR プラズマにおける C₂H₂ の反応過程」第 24 回ダイヤモンドシンポジウム、2010 年 11 月 17 日、東京工業大学

[36] 鬼束さおり, 越村克明, 伊藤治彦「希ガスの ECR プラズマを用いた CH₃CN の解離励起反応解析」第 24 回ダイヤモンドシンポジウム、2010 年 11 月 17 日、東京工業大学

[37] 山元愛弓, 新木一志, 和田 晃, 鈴木常生, 齋藤秀俊, 伊藤治彦「CN ラジカルの付着確率」第 24 回ダイヤモンドシンポジウム、2010 年 11 月 17 日、東京工業大学

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

(3) 連携研究者

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
鈴木 常生 (SUZUKI TSUNEO)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 00313560
神田 一浩 (KANDA KAZUHIRO)
兵庫県立大学・工学部・教授
研究者番号: 20201452