

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03602

研究課題名（和文）大電力パルススパッタリングにおけるイオン化反応過程の解明

研究課題名（英文）Clarification of ionization process on high power impulse magnetron sputtering

研究代表者

太田 貴之（Ohta, Takayuki）

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：10379612

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、HiPIMSを用いたDLC膜の高硬度化メカニズムを解明するために、プラズマ中の炭素イオン及びアルゴンイオンの挙動解析を行い、イオンの生成メカニズムに関して考察した。HiPIMSを用いることで、通常のスパッタでは基板バイアスを用いないと達成されない膜硬度20GPaを、基板バイアスなしで得ることができた。この結果から、高エネルギーイオンの生成とイオン化率が向上されていることが示唆された。エネルギーアナライザ付き質量分析器を用いたイオンエネルギー分布の時間分解計測を行い、炭素及びアルゴンイオンのそれぞれ高エネルギー成分と低エネルギー成分の生成過程を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、HiPIMSを用いることで、基板バイアス電圧を印加することなく、膜硬度20GPaのDLC膜を成膜することができた。この技術は、高硬質DLC膜が必要とされる産業応用に貢献できる。また、スパッタリングプラズマ中の炭素及びアルゴンイオンの生成過程を明らかにした。この知見は、PVDによる薄膜形成に関する科学技術基盤を構築するための一助となり、新規機能性薄膜の創生や新規薄膜形成プロセス制御技術の創出に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, in order to investigate the mechanism of high hardness of DLC film using HiPIMS, the behavior of carbon ions and argon ions in plasma was analyzed, and the production process of ions was discussed. An film hardness of 20 GPa was obtained by using HiPIMS without a substrate bias. From the results, the production of high-energy ions and the ionization rate were improved. Time-resolved measurements of the ion energy distribution using a mass spectrometer with an energy analyzer were performed to clarify the production processes of high-energy and low-energy components of carbon and argon ions, respectively.

研究分野：プラズマ成膜

キーワード：スパッタリング アモルファスカーボン イオンエネルギー 質量分析 イオンフラックス

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜は、ダイヤモンド(sp³結合)とグラファイト(sp²結合)からなるアモルファス炭素材料であり、sp³結合のみからなるテトラヘドラルアモルファスカーボン膜は、超硬質、低摩擦、高赤外線透過性、耐久性といった優れた特性を示す。このような特徴から、自動車エンジンや工具の表面コーティング材料など、幅広い分野に実用化されている。高硬質 DLC 膜を実現するためには、膜に入射するイオンの役割が重要となる。物理的气相成長(PVD)法であるアークイオンプレーディング(AIP)での実験において、約 100eV の炭素イオン(C⁺)が DLC 膜に入射すると膜中の sp³ 結合量の豊富になることが報告されている。これは、C⁺が膜に入射されたときに生じる DLC 膜の局所・瞬間的な高密度・高温状態が sp³ 結合への変態を誘発するためであるとされている。AIP を用いた DLC 成膜は、DLC 膜上にドロップレットを生成しやすく、生産性が劣るという欠点があった。一方、スパッタリングはドロップレットフリーで、高速に大面積成膜が可能であり生産性が高いが、一般的に高エネルギーイオンの生成は難しく、基板側にバイアス電圧を印加することにより高エネルギーイオンを膜入射させている。

ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリング(HiPIMS)は、数十マイクロ秒程度にパルス化した電力を固体ターゲットに印加するパルススパッタリングの一種である。HiPIMS では、パルスの Duty(パルス ON/OFF)比をおおよそ 1%と小さくし、総電力をこの時間内に圧縮してターゲットに投入される。これにより電力のピーク値が増大し、高いプラズマ密度(スパッタ粒子の高イオン化効率)と高エネルギーイオンの生成を実現するものである。一般的な HiPIMS の定義は、瞬時電力密度 0.5 kW/cm² 以上で、Duty 比は数~数%程度である。これらの振る舞いによって、DLC 膜中の sp³ 結合量の増加が期待できるが、炭素ターゲットを用いた DLC 膜を含む HiPIMS カーボンケミストリー、すなわちイオン化の反応過程を定量的・系統的にまとめた報告は、国内外になかった。

2. 研究の目的

本研究では、炭素ターゲットを固体材料として用いた大電力パルススパッタリングにおいて、プラズマ中の粒子(炭素イオン、アルゴンイオン等)の数密度やエネルギー分布の測定を行った。これらの測定結果に基づき、DLC 膜中の sp³ 結合量の増加に寄与するイオン化反応過程を明らかにすることを目的とした。また、ダイヤモンドライクカーボン膜の膜質(sp³ 結合量、摩擦係数等)を評価し、イオンの振る舞いと膜質の関係を調べた。

3. 研究の方法

図 1(a)に、イオンエネルギー分布測定時に用いたエネルギーアナライザ付き質量分析器を搭載した HiPIMS 装置の概略図を示す。50μm のオリフィスを有するエネルギーアナライザ付き質量分析器(EQP300; Hiden Analytical Ltd.)をターゲットに対向させた。ターゲット - オリフィス間距離は 68 mm とした。イオンエネルギーの計測範囲は 0 から 40 eV で、その分解能は 0.05 eV に設定した。

図 1(b)に、成膜時に用いた HiPIMS 装置の概略図を示す。洗浄した基板を基板ホルダーに設置し、真空引きが終わった後(1.0×10⁻³ Pa)に真空容器内に Ar ガスを導入した。Ar ガス流量 5 sccm、圧力 0.5 Pa、ターゲット - 基板間距離 84 mm とした。2 インチのカーボンターゲットに HiPIMS 電源を接続し、周波数 400 Hz、パルス幅 8 μs と固定し、印加電圧を 800 から 950 V まで変化させた。膜厚を 100 nm になるように成膜時間を調整し、ラマン散乱分光法による結晶構造の評価、摩擦試験による摩擦係数の測定を行った。

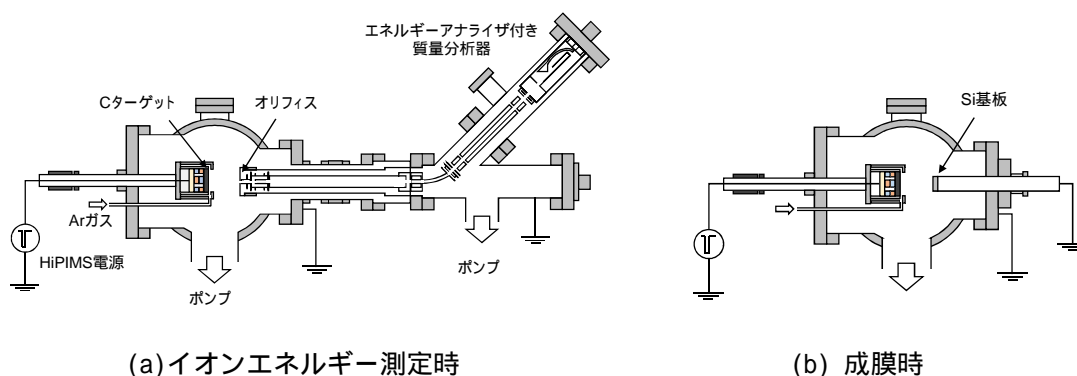


図 1 実験装置図

4. 研究成果

(1) ターゲット電圧電流特性

図2にターゲット電流波形、図3にターゲット電圧波形を示す。ターゲット電流は、約2 μsの絶縁破壊後に時間経過とともに徐々に大きくなり、印加電圧を750から950 Vまで増加させると電流ピーク値は20から84 Aまで増加した。また、ターゲット電圧は、ターゲット電流が急激に増加する約4 μsから減少することが確認された。これは、電源の内部抵抗(5 Ω)に高い電流が流れたことよって、電圧降下が起こったためであると考えられる。ピーク電流に達した時間において、電流値と電圧値の積からピーク電力密度を算出した。その結果、ピーク電力密度は0.5から2.0 kW/cm²であり、本実験条件が単なるパルススパッタではなく、HiPIMSモード領域に該当することが確認された。

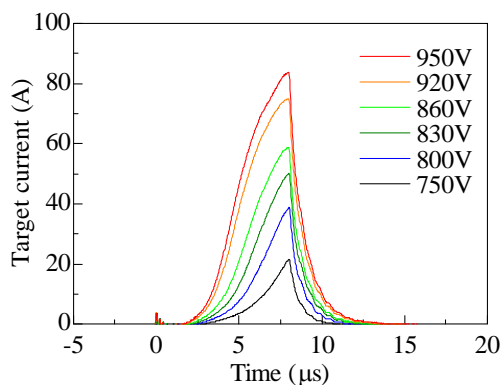


図2 電流波形

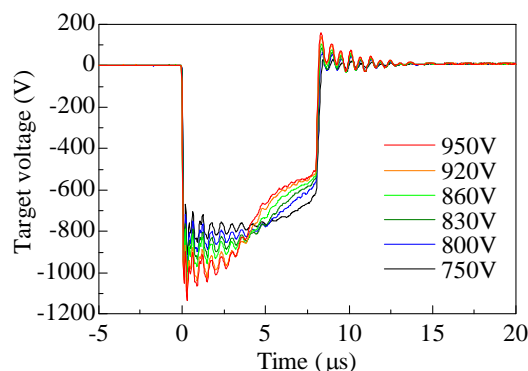
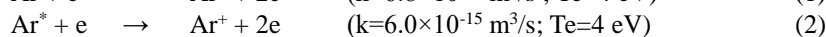
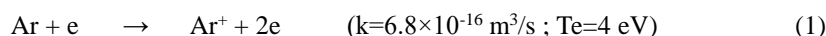


図3 電圧波形

(2) Ar⁺とC⁺のエネルギー分布

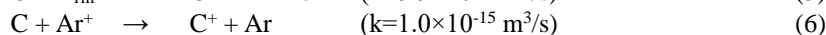
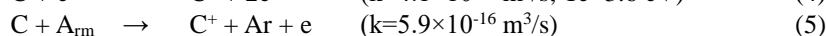
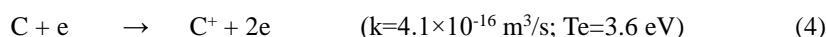
エネルギーアナライザ付き質量分析器を用いてAr⁺とC⁺のイオンエネルギー分布を計測した。図4(a)と(b)に、それぞれ印加電圧を変化させたときのAr⁺とC⁺のエネルギー分布を示す。時間積算測定データのデータであり、HiPIMS放電のパルス電圧オン時間とオフ時間にまたがる情報が結果に示されている。

Ar⁺のエネルギー分布は、低エネルギー成分と高エネルギー成分からなり、全体として0から20 eVまでの広がりを持った。エネルギー分布の形状について、Ar⁺の生成過程から考察した。Ar⁺は、基底状態のAr原子の電子衝突電離、励起状態のAr原子の電子衝突電離、スパッタ粒子であるCのイオン(C⁺)との電荷交換反応によって生成される。



ここで、kは反応速度係数、Teは電子温度を表す。式(1)と式(2)は電子衝突のためAr⁺の運動量は変化しない。ガス中の中性粒子であるArやAr^{*}のエネルギーはガス温度に近いので、式(1)と式(2)は低エネルギー成分の形成に寄与する。また、HiPIMS放電において、電子密度はパルス電圧のオフ時間でもある程度高い値を維持することが報告されている。これらのことから、低エネルギーAr⁺はパルス電圧のオン時間とオフ時間の両方で起きるため、生成イオン量が多くなる。一方、式(3)ではArとC⁺との衝突によって運動量移行が起こるため、高エネルギー成分の形成に寄与する。後述するようにスパッタ粒子はパルスオン時間にしか存在しないため、高エネルギーAr⁺の生成イオン量は低エネルギーイオンに比べて少なくなった。印加電圧を増加させたとき、低エネルギー成分のピークにおけるイオン量が減少し、同時に低エネルギー成分の幅が4 eV程度まで高エネルギー側に広がった。また、高エネルギー成分は、印加電圧が830 V以上で急激に増加した。

C⁺のエネルギー分布は、主に高エネルギー成分からなり、0から40 eVまでの広がりを持った。これはAr⁺によるターゲット内部でのカスケード衝突により、スパッタされたC原子が高いエネルギーを持つためであると考えられる。C⁺は、基底状態のC原子の電子衝突電離、準安定状態のAr原子(A_m)とのPenning電離、Ar⁺との電荷交換反応によって生成される。



スパッタ粒子はパルス電圧のオン時間中にしか生成されないため、C⁺のエネルギー分布は1つの成分で表された。実際に、時間分解測定を行った先行研究では、低圧下においてパルス電圧

オフ時には C^+ のフラックスがほとんど計測されないことが報告されている。また、印加電圧を増加させると、形状が変化することなく生成イオン量は一様に増加した。

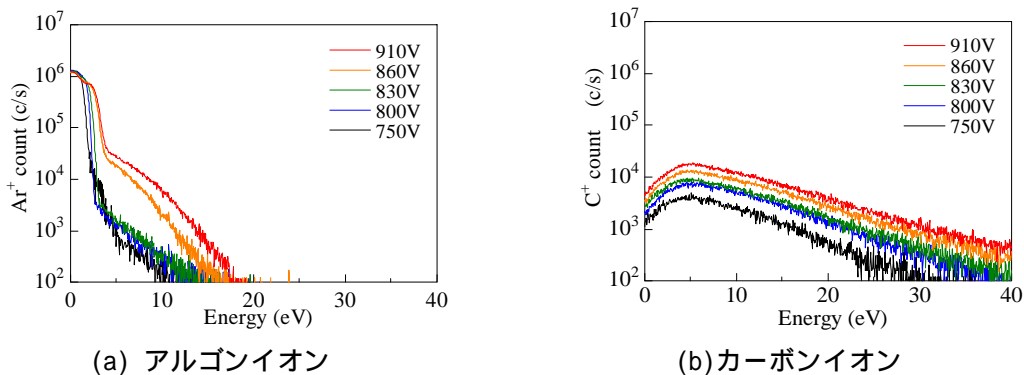


図4 イオンエネルギー分布

(3) DLC 膜の結晶構造

図5にラマン分光法によって得られたラマンスペクトルとガウス分布を用いたフィッティングの結果を示す。1350 cm^{-1} の D ピークは、炭素の sp^2 結合のリング構造の欠陥に由来するとされている。また、1550 cm^{-1} の G ピークは、炭素の sp^2 結合の伸縮振動に由来するとされている。得られた結果は、G ピークを主ピークとし、D ピークをショルダーバンドとして表すことができ、DLC 特有のスペクトルを示した。これにより HiPIMS 法により DLC 膜の成膜に成功したといえる。図5のラマンスペクトルを D バンドと G バンドにデコンボリューションし、それぞれの面積強度比 I_D/I_G を求めた。図6に I_D/I_G の印加電圧依存性を示す。 I_D/I_G は炭素原子の sp^2 結合（グラファイト構造）の割合を示している。その値が大きいとき sp^2 結合の欠陥成分は増加し、よりアモルファス構造になる。図6より、印加電圧に対して I_D/I_G はほとんど一定の値を示し、膜中の結晶構造は、印加電圧を増加させてもほとんど変化しなかったと考えられる。膜中の sp^3 結合の割合を増加させるためには C^+ のサブプラナーションが重要な役割をもつが、その閾値は 35 eV である。基板バイアス電圧 0V の本実験条件では、結晶構造が変化しなかったと考えられる。しかしながら、通常のスパッタでは基板バイアスを用いて達成される膜硬度 20GPa を、HiPIMS では基板バイアスなしで得られており、高エネルギーイオンの生成とイオン化率が向上されていることが示唆された。

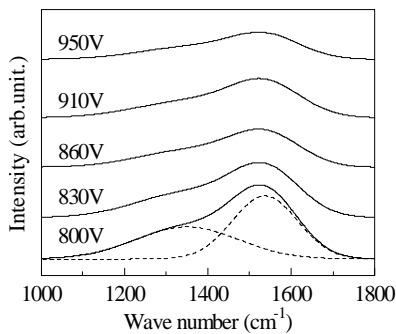


図5 ラマンスペクトル

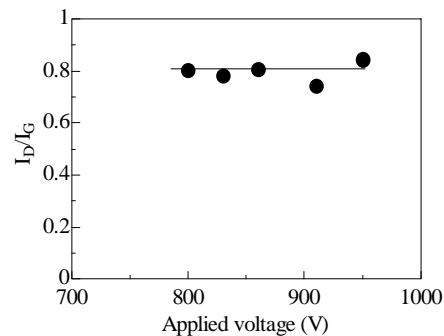


図6 I_D/I_G の印加電圧依存性

(4) 摩擦係数

図7に時間平均して算出した摩擦係数の印加電圧依存性を示す。大気圧無潤滑下にてボールオンディスク摩擦試験を用いて評価した。気温 25 $^{\circ}C$ 、湿度 50 % 下で、相手材には鋼球 SUJ2 を用いて負荷 1 N、摺動半径 2 mm の条件とし、膜が摩耗するまで試験を行った。印加電圧を 800 から 950 V まで増加させたとき、摩擦係数は 0.21 から 0.16 まで減少した。印加電圧の増加とともに、膜へ入射する高エネルギー Ar^+ や C^+ が増加して DLC 膜の表面粗さが向上したため、摩擦係数が減少したと考えられる。

(5) イオンフラックス及びエネルギー分布の時間変化

図8に、電力パルス幅 20 μs における、 Ar^+ と C^+ の基板への入射フラックスの時間変化を示す。電力パルスの立下りのタイミングを 0 μs とした。 Ar^+ と C^+ の双方ともに電力パルスの立ち上がりとともにフラックスは増加した。電力パルスが OFF になった直後、50 μs 付近まではフラックスが減少した。50 μs から 80 μs 付近までは減少が停滞し、その後再び減少するという振る舞いをするのが明らかになった。

図 9(a)と(b)に、それぞれ(a) -15~0 μ s (パルスオン時間;カパルス立ち上がりから立下りまで) (b) 0~45 μ s (パルスオフ時間; 電力パルス立下り後)の C⁺のエネルギー分布の時間変化を示す。パルスオン中では(-15~0 μ s)、時間の経過とともに高エネルギー成分が増加した。一方、パルスがオフになると高エネルギーC⁺は減少し、5eV 以下の低エネルギーC⁺が顕著になった。

以下に各時間におけるイオン生成過程を考察する。-10 μ s におけるエネルギー分布は、Maxwell 分布でフィッティングできた。Maxwell 分布を示す成分は、電子衝突電離によるイオン生成過程が考えられる。-5 μ s では、高エネルギー成分が急激に増加した。高エネルギーテールは、Thompson 分布を示すスパッタ原子のエネルギーを反映する。すなわち、瞬時電力密度の急激に増加により生成された高エネルギーのカーボン原子が電子衝突電離を起し、エネルギー緩和を起さずに高いエネルギーを保ったまま基板に入射されると考えられる。0 μ s のエネルギー分布も Maxwell 分布と Thompson 分布の二つの分布が重畳された形状で表されたが、Maxwell 分布の成分の急激な増加が見られた。0 μ s は瞬時電力密度がピークに達する時間であり、プラズマ密度と C 原子のスパッタ量が最も大きい時間であることから、Maxwell 分布を示す電子衝突電離によるイオン生成が促進されたことに起因すると考えられる。

0 μ s 以降のパルスがオフになった時間では、およそ 15 μ s まで高エネルギーC⁺が観測され、25 μ s では Thompson 分布で表される高エネルギー成分が存在しなくなった。これは、パルスオフ時間では、カーボン原子のスパッタが起こらなくなるために高エネルギーC⁺は生成されず、オン時間で生成された C⁺が飛行し、基板に入射されたと考えられる。また、5eV 以下の低エネルギー成分が増加した。低エネルギー成分はプラズマシースを介して機器内に加速される、あるいは機器自体の内部で生成される熱イオンに起因するとされる。

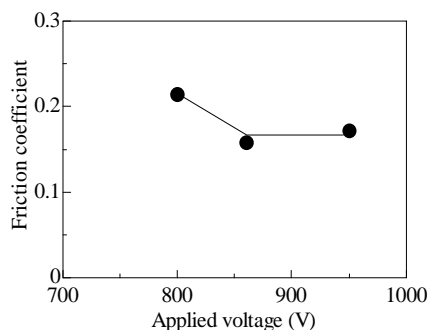


図 7 摩擦係数の印加電圧依存性

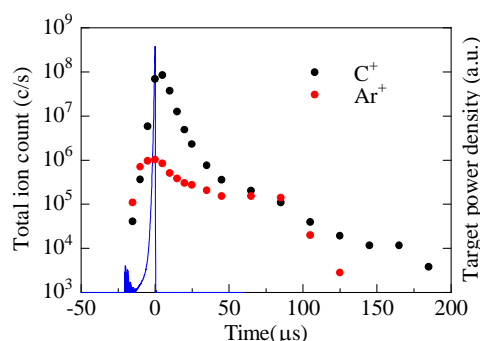
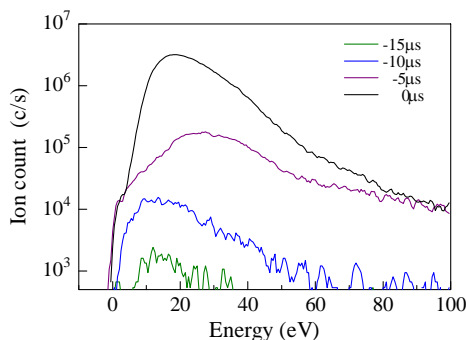
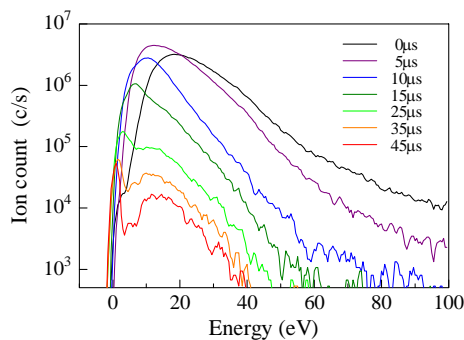


図 8 基板への入射フラックスの時間変化



(a) 電力パルス立ち上がりから立下りまで



(b) 電力パルス立下り後

図 9 C⁺のエネルギー分布の時間変化

(6) まとめ

本研究では、HiPIMS を用いた DLC 膜の高硬度化メカニズムを解明するために、プラズマ中の炭素イオン及びアルゴンイオンの挙動解析を行い、イオンの生成メカニズムに関して考察した。HiPIMS を用いることで、通常のスパッタでは基板バイアスを用いないと達成されない膜硬度 20GPa を、基板バイアスなしで得ることができた。この結果から、高エネルギーイオンの生成とイオン化率が向上されていることが示唆された。エネルギーアナライザ付き質量分析器を用いたイオンエネルギー分布の時間分解計測を行い、炭素及びアルゴンイオンのそれぞれ高エネルギー成分と低エネルギー成分の生成過程を明らかにした。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Iga Kazunori, Oda Akinori, Kousaka Hiroyuki, Ohta Takayuki	4. 巻 672
2. 論文標題 Formation of diamond-like carbon film using high-power impulse magnetron sputtering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 104 ~ 108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tsf.2019.01.005	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 -

〔学会発表〕 計31件（うち招待講演 5件/うち国際学会 18件）

1. 発表者名 太田 貴之
2. 発表標題 HiPIMSを用いたDLC成膜プロセスにおけるプラズマ診断と膜質評価～低摩擦化を目指して～
3. 学会等名 表面技術協会 高機能トライボ表面プロセス部会第14回例会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Ohta, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka
2. 発表標題 Formation of diamond-like carbon film for tribology using high power impulse magnetron sputtering
3. 学会等名 2019 International Conference on Metals and Alloys (CMA 2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayoshi Tsutsumi, Hiroki Kondo, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Takayuki Ohta, Makoto Sekine, Masafumi Ito, Masaru Hori
2. 発表標題 Plasma Processing with Feedback Control of Wafer Temperature By Non-Contact Temperature Measurement System
3. 学会等名 236th ECS Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takayuki Ohta
2 . 発表標題 diamond-like carbon film for protective coating
3 . 学会等名 Taiwan - Japan Joint Workshop of 10th WEEEA , 10th IWNC, 12th IWPBST (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Takayuki Ohta, Kazunori Iga, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka
2 . 発表標題 Gas phase diagnostics of a carbon HiPIMS for a deposition of diamond-like carbon film
3 . 学会等名 XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masayuki Nakamura, Keigo Takeda, Takayuki Ohta
2 . 発表標題 Gas phase diagnostics on TiN film deposition using high power impulse magnetron sputtering
3 . 学会等名 XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Akinori Oda, Masahiro Kojima, Yuta Kimura, Takayuki Ohta, Hiroyuki Kousaka
2 . 発表標題 Computational Study on Fundamental Properties of Pulsed Discharge at Atmospheric-Pressure for Hard Coatings Technology by Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition
3 . 学会等名 XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Nakamura, Keigo Takeda, and Takayuki Ohta
2. 発表標題 Gas phase diagnostics on high power impulse magnetron sputtering for TiN film formation
3. 学会等名 12th Asian European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Ohta, Yuki Miwa, Akinori Oda, and Hiroyuki Kousaka
2. 発表標題 Deposition of Si-doped DLC film by dual magnetron sputtering
3. 学会等名 12th Asian European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sena Iwata, Kaunori Iga, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, and Takayuki Ohta
2. 発表標題 Plasma diagnostics on formation of diamond-like carbon film using high power impulse magnetron sputtering
3. 学会等名 12th Asian European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jo Matsushima, Kazunori Iga, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, and Takayuki Ohta
2. 発表標題 Film property of diamond-like carbon deposited by magnetron sputtering
3. 学会等名 12th Asian European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masayuki Nakamura, Keigo Takeda, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Ohta
2 . 発表標題 Energy distribution function on high power impulse magnetron sputtering
3 . 学会等名 The 72nd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ohta, K. Iga, A. Oda, and K. Kousaka
2 . 発表標題 Deposition of diamond-like carbon film using high power impulse magnetron sputtering
3 . 学会等名 The 41st International Symposium on Dry Process (DPS2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Jo Matsushima, Kazunori Iga, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, and Takayuki Ohta
2 . 発表標題 Plasma Characteristics of Carbon-Hipims for DLC-Film Deposition
3 . 学会等名 Taiwan - Japan Joint Workshop of 10th WEEEA , 10th IWNC, 12th IWPBST (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Masayuki Nakamura, Keigo Takeda, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Ohta
2 . 発表標題 Plasma Diagnostics on TiN-HiPIMS Process
3 . 学会等名 Taiwan - Japan Joint Workshop of 10th WEEEA , 10th IWNC, 12th IWPBST (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Jo Matsushima, Yuichi Murakami, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka and Takayuki Ohta
2. 発表標題 Effect of Pulse Width on High Power Impulse Magnetron Sputtering for Deposition of Diamond-Like Carbon Thin Films
3. 学会等名 ISPIasma2020/IC-PLANTS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩田 聖奈, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之
2. 発表標題 スパッタリングを用いたSi 含有DLC 膜の摩擦特性
3. 学会等名 表面技術協会第140回講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島 丈, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之
2. 発表標題 HiPIMSを用いたDLC 成膜とそのプラズマ診断
3. 学会等名 表面技術協会第140回講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 将之, 竹田 圭吾, 太田 貴之
2. 発表標題 HiPIMSを用いたTiNスパッタリングプラズマ中のイオンの挙動
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島 丈, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之
2. 発表標題 HiPIMSを用いたDLC成膜とそのプラズマ診断
3. 学会等名 表面技術若手研究者・技術者研究交流発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田 聖奈, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之
2. 発表標題 スパッタリングを用いたSi含有DLC膜の摩擦特性
3. 学会等名 表面技術若手研究者・技術者研究交流発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田 貴之, 村上祐一, 松島 丈, 小田昭紀, 上坂裕之
2. 発表標題 HiPIMS を用いたDLC 成膜プロセスにおけるイオンの挙動
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 貴之, 松島 丈, 村上 祐一, 小田 昭紀, 上坂 裕之
2. 発表標題 DLC成膜用カーボンHiPIMSのプラズマ診断
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Ohta
2. 発表標題 ion energy distribution function on high power impulse magnetron sputtering for hard coating
3. 学会等名 International Workshop on Plasma-Tailored Nanostructures and Applications (WOPTAN 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazunori Iga, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka, and Takayuki Ohta
2. 発表標題 Ion Energy Distribution in High Power Impulse Magnetron Sputtering Discharge Using Carbon Target
3. 学会等名 Joint International conference on ICMAP 2018, APCPST 2018, and ISPB 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Iga, A. Oda, K. Kousaka and T. Ohta
2. 発表標題 Deposition mechanism of diamond-like carbon using high power impulse magnetron sputtering
3. 学会等名 The 40th International Symposium on Dry Process (DPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊賀 一憲, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之
2. 発表標題 ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリングを用いたダイヤモンドライクカーボン成膜におけるプラズマ診断
3. 学会等名 平成30年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊賀一憲, 小田昭紀, 上坂裕之, 太田貴之
2. 発表標題 ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリング中における生成イオンの挙動解析
3. 学会等名 表面技術協会第138 回講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊賀一憲, 太田 貴之
2. 発表標題 チタンターゲットを用いた高電力パルススパッタリング放電におけるイオンの生成過程
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田貴之, 伊賀一憲, 三輪 侑生, 小田昭紀, 上坂裕之
2. 発表標題 HiPIMSを用いたDLC成膜とその気相診断
3. 学会等名 電気学会 放電/プラズマ・パルスパワー合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊賀一憲, 小田昭紀, 上坂裕之, 太田貴之
2. 発表標題 ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリングのイオンエネルギー分布関数の測定
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------