

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01674

研究課題名(和文)バイポーラ型HiPIMS法による立方晶炭窒化ホウ素膜の残留応力低減技術の開発

研究課題名(英文)Residual stress control of boron carbon nitride coatings by bipolar-HiPIMS

研究代表者

清水 徹英 (Shimizu, Tetsuhide)

東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：70614543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：バイポーラ型HiPIMSプラズマを用いた炭窒化ホウ素(BCN)膜成長における立方晶相形成に及ぼす影響因子を解明し、薄膜の残留応力低減に向けたプロセス開発を進めるため、発光分光イメージングおよびイオン質量分析を駆使した時間・空間分解プラズマ分析データに基づいたプロセス指針を構築し、立方晶相の核形成に関わる因子を明らかにした。立方晶相由来の結合を有する非晶質BCN薄膜では最大硬度45GPaが達成された。さらにバイポーラ型HiPIMSを用いた選択的なイオン加速が薄膜の残留応力に及ぼす影響についても議論が進められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、HiPIMS放電を用いたBCN膜の立方晶形成に対する基板への入射粒子の関連因子について、プラズマ分析に基づいた系統的な検証による原理解明が進められた。これにより多岐にわたるHiPIMSプロセスパラメータのそれぞれの位置づけが明確化されると共に、立方晶相形成に向けたHiPIMSプロセス設計指針の礎が構築された。さらにバイポーラ型HiPIMSによる自己イオン衝撃の効果が明らかにされ、立方晶BN膜の残留応力低減に向けた方向性を示すことができた。これらは我が国におけるHiPIMS技術への産業的な要望を先導するものであり、今後当該技術の国内における産業化に大きく貢献できるものである。

研究成果の概要(英文)：This study aims to elucidate the influencing factors on the cubic phase formation in boron carbon nitride (BCN) film growth by bipolar HiPIMS discharge toward the PVD process development to realize the stress-free cubic BN films. To elucidate the plasma dynamics of bipolar HiPIMS discharge, time- and space-resolved plasma diagnostics using optical emission spectroscopy imaging and ion mass spectrometry were performed. A systematic film growth experiments based on these diagnostic data revealed the factors related to c-BN nucleation and growth. At the same time, the effect of selective ion acceleration by bipolar discharge on the film growth and stress reduction was discussed. Finally, amorphous BCN films with a maximum hardness of 45 GPa were demonstrated through this study.

研究分野：薄膜工学、プラズマ工学

キーワード：イオン化物理蒸着 炭窒化ホウ素膜 立方晶窒化ホウ素 バイポーラ型HiPIMS プラズマ発光分光法
イオン質量分析 FTIR イオン運動エネルギー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

世界的なCO₂排出規制の強化に伴って、自動車の軽量化への要求が年々厳しさを増しており、2030年には燃費38km/Lの実現が要求されている。この達成には構造部材として1.8GPa級の超高張力鋼板の使用比率を伸ばす必要があり、その実現に向けて金型表面の高強度・高靱性・低摩擦化と、高面圧下の摩擦熱の発生にも耐えうる優れた熱的・化学的安定性を有する硬質膜形成技術の開発が急務である。これに対して、立方晶窒化ホウ素(c-BN)はダイヤモンドに次ぐ硬さと高熱伝導率および1000°C以上の高温耐熱性を有し、鉄鋼材料と不活性という特性から、その応用が期待されてきた。しかし、1990年代以来多岐にわたる成膜手法で研究が行われてきたが、未だ産業化に至っていない。中でも形成プロセス中に10-20GPaもの高い残留応力が導入される事による著しい膜の密着性の低下はその大きな障壁となっている。

これは、c-BN結晶相の核形成時に膜を構成するホウ素(B)や窒素(N)原子よりも大きな質量を有する窒素分子(N₂)やアルゴン(Ar)原子等の粒子を50eV以上の高いエネルギーでイオン衝撃をする事に起因する。c-BN相の核形成には乱層構造(turbostratic)BN相(以下t-BN相)へのイオン衝撃によるナノアーチの形成が鍵とされており、膜の構成元素よりも重たい元素を用いる事でより効率的にc-BN相の核形成が実現される。一方で、それらが膜内部に残存し結晶格子間内に入り込み、構造欠陥として残留応力の増大を引き起こす。これに対して、膜構成粒子自身によるイオン衝撃(自己イオン衝撃)を用いる事で、これらは結晶格子間ではなく格子点に含まれる可能性を大いに有しており、構造欠陥導入による残留応力増大の抑制が期待される。さらに入射イオンから基板表面拡散粒子への運動量変換において、膜構成粒子自身を衝撃させることは、その完全な質量一致により弾性的な衝突となるため、効率的な運動量変換が期待される。しかしc-BN相形成に必要なB⁺やN⁺イオン等の運動エネルギーに関する議論は少なく、その実現可能性も明らかにされていない。さらに、これら膜構成粒子によるイオン衝撃を達成するには、気相中の膜構成原子を効率的にイオン化し、電場等によって選択的に特定のイオンを加速させる技術が必要となる。従来のPVDプロセスの中では、パルスレーザ堆積(PLD)法やイオンビーム蒸着(IBD)法ではその実現可能性がある一方で、これらのプロセスは大面積化の点で産業化に向けた実現性が乏しい。

これに対して、本研究では申請者らの研究実績があるHiPIMS技術の発展的な取り組みとして、蒸着源に負のパルス電圧を印加した直後に、さらに正のパルス電圧を印加することで、ターゲット直上に存在する正の電荷をもつイオン粒子をターゲット表面の電位と反発させ、基板方向に加速させるバイポーラ型HiPIMS技術(図1)に着目した。

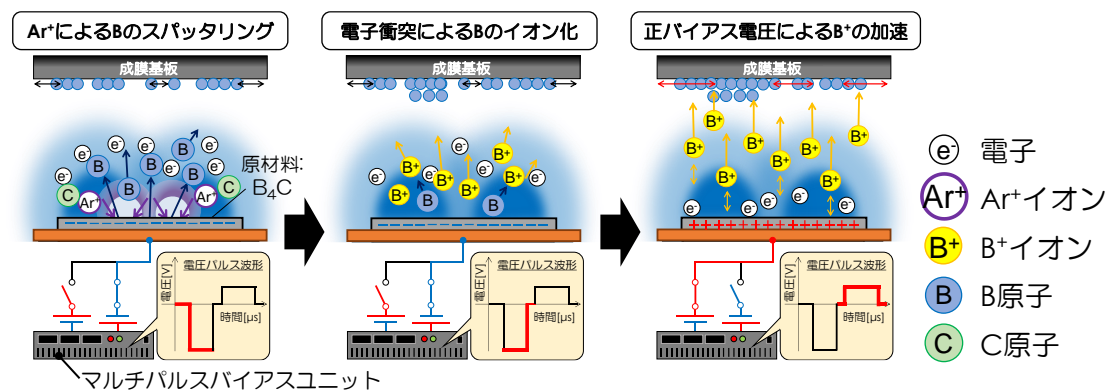


図1 バイポーラ型HiPIMS技術の概要図

バイポーラ型HiPIMSに関するこれまでの取り組みにより、正のバイアス電圧値と基板方向に加速されるイオンの運動エネルギーが比例して増大する事が明らかになっており、本研究が目標とする膜を構成するスパッタ粒子(主にB⁺イオン)の高エネルギーイオン化の実現が期待される。一方で、プラズマ中に混在するB⁺、N⁺、Ar⁺等のイオン種の中で加速対象とするイオンの選択性を議論するには、HiPIMSパルス電圧印加直後のスパッタ粒子のイオン化特性とターゲット直上における各イオン種の滞留時間や正電圧の印加に伴うプラズマ電位の過渡的な時間推移の同定が極めて重要となる。しかし、ターゲット直上のプラズマ特性の過渡的な変化は未解明な事象が多く、特に本研究が想定をしているB₄Cターゲットを用いたバイポーラ型HiPIMSプラズマ放電におけるそのイオン輸送特性は世界的にも検証された事例はない。

2. 研究の目的

本研究では、申請者らが推進してきた HiPIMS 技術による炭窒化ホウ素(BCN)膜形成における知見を礎に、バイポーラ型 HiPIMS プラズマ特性の解明に基づいて、膜構成粒子の選択的なイオン加速を実現し、c-BN 相核形成に及ぼす影響と自己イオン衝撃による BCN 膜成長に対する効果を明らかにすることを大きな研究目標とした。本研究目標の達成に向けて、Ar/N₂ 雰囲気下における B₄C ターゲットを用いた BCN 膜形成を対象に、研究期間内に以下の 3 つの重点研究課題の解明に取り組むことを主な研究目的とした。

- 1) 極短 HiPIMS パルス条件下におけるターゲット直上のプラズマ特性の過渡現象
- 2) 正のパルスバイアス電圧の印加条件とイオン輸送特性の関連性
- 3) 入射イオン流束条件が BCN 膜成長に及ぼす影響

これらに基づき、立方晶相の形成と残留応力低減を両立するプロセス設計指針を構築し、その工業的実用性の実証を目指す。

3. 研究の方法

研究期間内に明らかにする上記 3 点の重点課題に対し、下記の通り研究を遂行した。

- ① バイポーラ型 HiPIMS システムの構築と各種パルスパターンにおける I-V 特性の検証
- ② プラズマ発光分光(OES)分析を用いたターゲット直上のプラズマ可視化システムの構築
- ③ OES イメージングおよび質量分析計を用いた HiPIMS プラズマの時間分解・イオンエネルギー分解・プラズマ診断
- ④ プラズマ診断に基づいたプロセスパラメータによる BCN 膜成膜実験および薄膜分析評価

4. 研究成果

(1) バイポーラ型 HiPIMS システムの構築と放電条件の探索

既存の HiPIMS 電源に新たに正のパルスバイアス電圧を印加するシステムを導入し、図 2 に示すようなバイポーラ型の HiPIMS 放電波形を形成可能な電源システムを構築した。さらに新たにデジタル遅延パルス発生器を用いてバースト型のパルス信号を始めとした各種異なるパルスパターンを外部信号として入力可能なシステムを構築した。また同システムを用いて、B₄C ターゲットを用いた窒素および Ar の今後雰囲気下における放電条件として、以降の検証項目で検討するパラメータ範囲について検証をした。これらに基づき、3 インチの B₄C ターゲットに対して、最大のピーク電流値 60A(ピーク電流密度約 1.3 A/cm²)の範囲内で、パルス幅やパルス周波数などのパルスパラメータの影響を安定して検証できることを明らかにした。

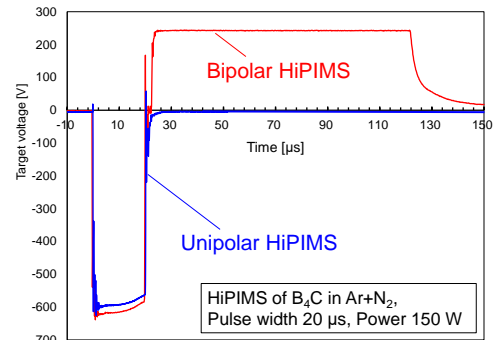


図 2 B₄C ターゲットを用いたバイポーラ型 HiPIMS パルス電圧波形の測定事例(ユニポーラ型との比較)

(2) OES イメージングシステムの構築とホウ素(B)イオン・中性粒子スペクトル線の同定

ターゲット近傍におけるプラズマ粒子の動的特性の検証を目的として、OES 分析を応用したプラズマ可視化システムを構築した。UV レンズを設置した高分解能 ICCD カメラによるターゲット直上のプラズマ発光の撮像、各イオン種の励起による発光スペクトルの波長フィルタによる抽出およびその発光強度の 2D イメージ化が可能なシステムを構築した。特に B⁺イオンおよび中性粒子由来の発光スペクトル線を同定するため、窒素流量比 100%の条件による放電検証を行うことで、Ar のスペクトル線

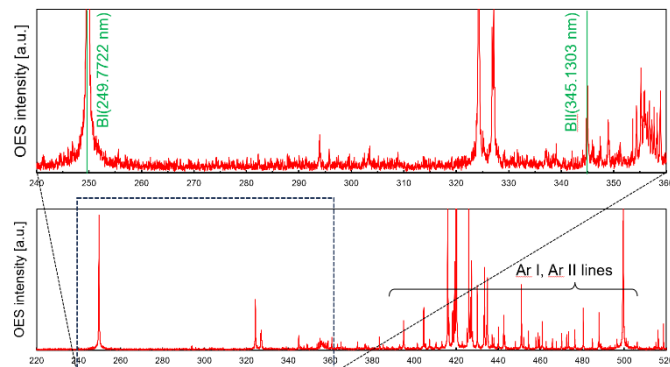


図 3 B₄C ターゲットによる Ar/N₂ 雰囲気中の HiPIMS 放電でのプラズマ発光分光スペクトル

と切り分けを行い、図3に示すように249nmおよび345nm近傍のスペクトル線がそれぞれホウ素イオン(B^+)および中性粒子(B^0)由来のスペクトル線であることを明らかにした。

(3) HiPIMS 放電における B^+ イオン流束に及ぼすパルスパラメータの解明

上記の通り構築した OES 分析システムを用いて、 B_4C 放電におけるプラズマ分光分析を実施し、 B^+ イオンの発光強度の動的特性を取得し、それらに基づいて HiPIMS パルス電圧の印加条件を検証した。その結果、重要なパルスパラメータとして、ピーク電流密度およびパルス幅の影響因子について検討し、より高いピーク電流密度および短いパルス幅の条件にて、より高い B^+ イオンの相対発光強度が得られることが示された。一方で、パルス幅が $30 \mu s$ 以下になるとその発光強度比が低下していく傾向が得られた。これらは、ピーク電流値を維持したままパルス幅の短小化の際に、より高いパルス電圧を印加する必要があることに起因して、イオン化された粒子がターゲットに引き戻されている影響によるものと推察される。

さらに、上記で検証された HiPIMS プラズマ条件における基板に入射するイオン種および運動エネルギー特性の解明を目的として、イオン質量分析を行った。同分析の遂行においては、新たに成膜基板を設置するステージと同等の距離にエネルギーアナライザ付き質量分析計を導入し、測定を実施した。その結果、ピーク電流密度の増大、プロセス圧力の低圧化およびパルス幅の短小化によって、より運動エネルギーの高い B^+ イオンの比率が増大していく傾向が示された。さらに、最も高い B^+ イオン流束が得られたプラズマ条件下において、時間分解分析を実施した結果、先行研究で得られた傾向と類似して、スパッタガス由来の Ar イオン流束よりも先行して、 B^+ イオン流束が到達する時間帯が存在することが明らかになった。

以上の検証を踏まえて、 B^+ イオンの相対発光強度比および基板に到達する際のイオン運動エネルギー分布の観点より、以降のバイポーラ型 HiPIMS 放電の検証パラメータとして、パルス幅 $20 \mu s$ 、ピーク電流密度 $60 A$ の放電条件において検討を進めることとした。

(4) バイポーラ HiPIMS 放電における時間・空間分解イメージング像の取得

上記の検証を踏まえた放電条件下で、先に示した OES イメージングシステムを用いたバイポーラ型 HiPIMS 放電の時間・空間分解プラズマ診断分析を行った。発光スペクトル線として、他のスペクトル線と重複せずに独立して検証可能な発光ラインとして、 B^0 の中性粒子由来の $249 nm$ の発光ラインに着目し、同波長のみを抽出可能なレンズフィルタ ($250 nm \pm 10 nm$) を用いて撮像した。図4にその際のターゲット直上の発光イメージング像を示す。負のパルス電圧印加直後に励起発光が観察される領域がスパッタターゲットの磁場分布と相関があることから、同領域近傍でスパッタされた B^0 粒子が電子衝突電離によりイオン化する領域である事が推察される。パルスオフ直前の $t = 15 \mu s$ では B^0 中性粒子がより広い空間領域に拡散していく様子が伺える。さらに電流値が最大値を迎える $t = 20 \mu s$ では、急激に B^0 中性粒子の発光強度が強くなると共に発光領域が広範囲に渡っている。そのわずか $5 \mu s$ 後の $t = 25 \mu s$ には、その領域における強い励起発光が観察されないことから、既にスパッタされた粒子が基板方向に輸送されていることが推察される。 $t = 30 \mu s$ ではさらにその領域が縮小化していることから、バイポーラパルスにおけるイオン加速可能な時間領域が、正のパルス電圧初期の極めて短い時間領域 ($5 \sim 15 \mu s$) に存在する事が明らかにされた。以上を踏まえて次項に示す、BCN 薄膜成長に及ぼす影響の検証におけるプロセスパラメータとして、重要なデータの取得が実現された。

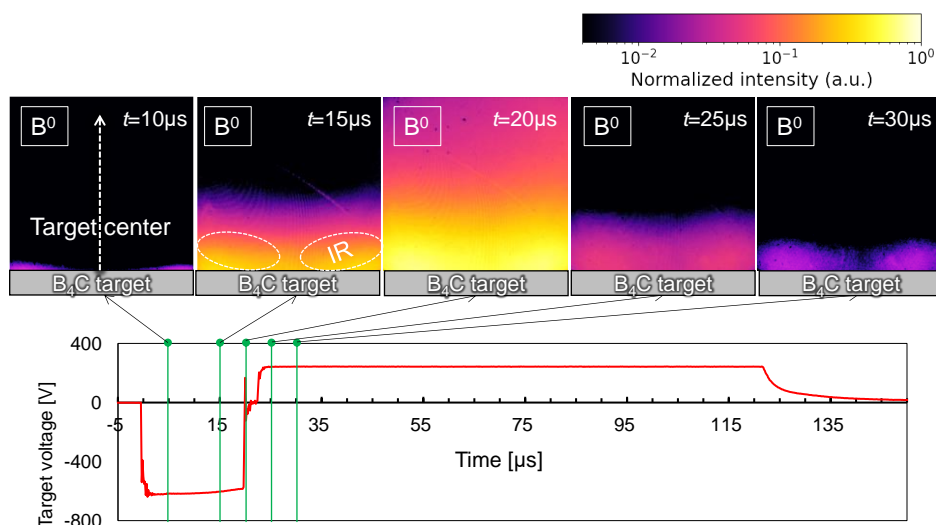


図4 OES イメージングシステムを用いた B^0 中性粒子由来の発光ラインの時間・空間分解イメージング像 (パルス幅 $20 \mu s$ 、ピーク電流密度 $60 A$ 、時間平均出力 $150 W$)

(5)c-BN 相形成に及ぼす入射イオン流束条件およびバイポーラ型 HiPIMS による BCN 膜成長挙動の解明

これまでのプラズマ分析結果に基づき、基板に入射するイオン流束の条件が BCN 薄膜成長に及ぼす影響について検証を行った。最も高い B イオン流束が得られた HiPIMS 放電条件となるパルス幅 20 μ s、ピーク電流値 60A の条件下で、基板バイアス電圧を-350V まで増大させイオン運動エネルギーおよびその衝撃に伴う運動量変換量について検証した。その結果、バイアス電圧を増大させていくことで、FTIR 分析による C-N 結合比率が減少すると共に、h-BN 結合の比率が増大し、さらにバイアス電圧を高めることで、c-BN 結合由来の吸収ピークが得られた。これらバイアス電圧の増大に伴う「蒸着粒子当たりの運動量変換量 P_{tot}/a 」およびその際の立方晶由来の体積比率を算出したものが図 5 になる。ここに示すように、これまでのイオン化 PVD 法と同様、 $P_{tot}/a=200$ を超えることで、立方晶の含有率が急激に増大していくことが明らかになった。c-BN 比率が 50%以上となった BCN サンプルの TEM 分析では、最表面の非晶質構造層の直下に t-BN と推察される層状組織が観察された。本サンプルの硬さ評価では、約 45GPa の高い硬度が得られたことから、 sp^3 電子軌道による c-BN 結合を多く含有する非晶質 BN 層が形成されたものと推察した。

これを踏まえた上で、最終的にバイポーラ型 HiPIMS 放電による BCN 薄膜成長実験が実施された。図 6 に示すようにパルス幅 20 μ s の負のパルス電圧直後に 100 の正のパルス電圧を印加することで、ユニポーラ型の放電と比較して、パルスオフ直後の基板におけるイオン電流が高くなっている事からより多くのイオン流束が基板に到達していることが分かる。

図 7 にその際に得られた BCN 薄膜の FTIR スペクトルを示す。本検証では、バイポーラパルスにおける正電圧値として+300V を印加した条件とさらにバイポーラパルスと同時に基板に-100V の直流バイアス電圧を印加した条件での検証も行った。その結果、先の直流バイアス電圧で得られた傾向と類似して、C-N 結合を主とする BCN 膜から h-BN が支配的な九州ピークが得られ、直流バイアス電圧を-100V さらに印加することでわずかに c-BN の吸収が確認された。このように総電位差 400V の印加にも関わらず c-BN 相の形成が促進されなかった理由として、①イオン衝撃に用いられるホウ素が軽元素であること、②印加電圧のパルス化によりイオン加速をしている時間が短く制限されることで、 $P_{tot}/a>200$ の閾値に満たなかったことが推察される。一方で、先の直流バイアス電圧-350V で形成した c-BN 比率の高いサンプルでは残留応力による膜の剥離が生じてしまったのに対して、本サンプルでは際立つ膜の剥離は観察されなかったことから、残留応力増大に対する選択的なイオン加速の効果がある程度存在することが示された。

今後さらに c-BN 相の比率を増大させていくためには、さらに高い B⁺イオン流束もしくはイオン運動エネルギーを高めた条件での検証が期待される。

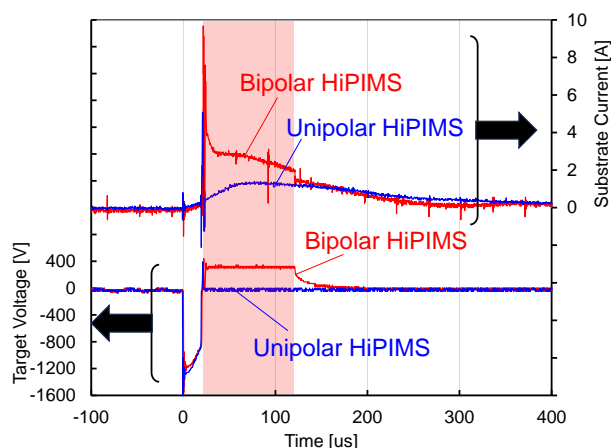


図 6 バイポーラ型パルス電圧波形およびその際の基板パルス電流波形

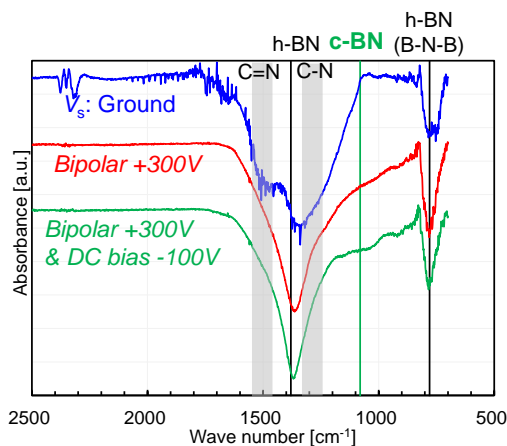


図 7 バイポーラ型 HiPIMS 放電により形成した BCN 膜の FTIR 吸収スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Babu Swetha Suresh, Rudolph Martin, Lundin Daniel, Shimizu Tetsuhide, Fischer Joel, Raadu Michael A, Brenning Nils, Gudmundsson Jon Tomas	4. 巻 31
2. 論文標題 Modeling of high power impulse magnetron sputtering discharges with tungsten target	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 065009 ~ 065009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ac774a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Vetter Joerg, Shimizu Tetsuhide, Kurapov Denis, Sasaki Tomoya, Mueller Juergen, Stangier Dominic, Esselbach Markus	4. 巻 134
2. 論文標題 Industrial application potential of high power impulse magnetron sputtering for wear and corrosion protection coatings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 160701 ~ 160701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0159292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Vetter Joerg, Shimizu Tetsuhide, Kurapov Denis, Sasaki Tomoya, Mueller Juergen, Stangier Dominic, Esselbach Markus	4. 巻 134
2. 論文標題 Industrial application potential of high power impulse magnetron sputtering for wear and corrosion protection coatings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 160701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0159292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Babu Swetha Suresh, Rudolph Martin, Lundin Daniel, Shimizu Tetsuhide, Fischer Joel, Raadu Michael A, Brenning Nils, Gudmundsson Jon Tomas	4. 巻 31
2. 論文標題 Modeling of high power impulse magnetron sputtering discharges with tungsten target	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 065009 ~ 065009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ac774a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimizu Tetsuhide, Takahashi Kazuki, Boyd Robert, Vilooan Rommel Paulo, Keraudy Julien, Lundin Daniel, Yang Ming, Helmersson Ulf	4. 巻 129
2. 論文標題 Low temperature growth of stress-free single phase alpha-W films using HiPIMS with synchronized pulsed substrate bias	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 155305 ~ 155305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0042608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimizu T., Zanaska M., Vilooan R. P., Brenning N., Helmersson U., Lundin D.	4. 巻 30
2. 論文標題 Experimental verification of deposition rate increase, with maintained high ionized flux fraction, by shortening the HiPIMS pulse	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 045006 ~ 045006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/abec27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Hayate Nagakura, Yuuki Tokuta, Hidetoshi Komiya, Ivan Fernandez, Robert Boyd, Daniel Lundin, Ulf Helmersson, Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 Phase Transformation of Boron Carbon Nitride Coatings Deposited by High-Power Impulse Magnetron Sputtering
3. 学会等名 International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, ICMCTF-2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hayate Nagakura, Yuya Anzai, Miki Kikuta, Ming Yang, Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 On the growth of boron carbon nitride coatings using HiPIMS with synchronized substrate bias
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress, IVC-22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 Film growth-based process design of HiPIMS pulse parameters -Role of repetition rate of instantaneous vapored flux-
3. 学会等名 ISPlasma/IC-PLANTS 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永倉颯, 安西祐哉, 菊田実希, 徳田祐樹, 楊明, 清水徹英
2. 発表標題 炭窒化ホウ素薄膜形成におけるHiPIMS パルス遅延同期バイアス電圧の効果
3. 学会等名 表面技術協会 第146回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水徹英
2. 発表標題 HiPIMS法によるmm細孔内壁面の薄膜成長と精密プレス金型への応用
3. 学会等名 型技術ワークショップ2022 in 岐阜 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu, Hao Du, Robert Boyd, Rommel Paulo Villoan, Daniel Lundin, Ming Yang, and Ulf Helmersson
2. 発表標題 Impact of selective acceleration of high-mass ions - Low temperature growth of stress-free single phase -W films-,
3. 学会等名 International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, ICMCTF-2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu, Hayate Nagakura, Ivan Fernandez, Jose Antonio Santiago, Pablo Diaz-Rodriguez, Yuuki Tokuta, Ming Yang
2. 発表標題 Towards the Growth of Cubic Boron Nitride Coatings by High-power Impulse Magnetron Sputtering
3. 学会等名 Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering, AEPSE2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu, Hao Du, Robert Boyd, Rommel Paulo Villoan, Daniel Lundin, Ming Yang, and Ulf Helmersson
2. 発表標題 Benefit of utilizing transient ion flux in HiPIMS discharges: Low temperature growth of high-Tm thin films
3. 学会等名 The 65th Summer Annual Conference of the Korean Vacuum Society(KVS), 10th International Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hayate Nagakura, Yuya Anzai, Miki Kikuta, Ming Yang, Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 On the growth of boron carbon nitride coatings using HiPIMS with synchronized substrate bias
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress, IVC-22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 Film growth-based process design of HiPIMS pulse parameters -Role of repetition rate of instantaneous vapored flux-
3. 学会等名 ISPlasma/IC-PLANTS 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永倉颯, 安西祐哉, 菊田実希, 徳田祐樹, 楊明, 清水徹英
2. 発表標題 炭窒化ホウ素薄膜形成におけるHiPIMS パルス遅延同期バイアス電圧の効果
3. 学会等名 表面技術協会 第146回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水徹英
2. 発表標題 HiPIMS法によるmm細孔内壁面の薄膜成長と精密プレス金型への応用
3. 学会等名 型技術ワークショップ2022 in 岐阜 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水徹英
2. 発表標題 大電力パルススパッタ(HiPIMS)法による機能性硬質膜開発とその技術動向
3. 学会等名 日本塑性加工学会 金型分科会 第55回セミナー「EV・カーボンニュートラル時代の軽量化インパクトに対峙する型技術」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu
2. 発表標題 Tailoring of oxide film growth in peak-current controlled reactive-HiPIMS
3. 学会等名 European Material Research Society (E-MRS) 2021 Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsuhide Shimizu, Kazuki Takahashi, Robert Boyd, Rommel Paulo Viloan, Julien Keraudy, Daniel Lundin, Ming Yang, and Ulf Helmersson
2. 発表標題 Low temperature growth of stress-free single phase α -W films using HiPIMS with synchronized pulsed substrate bias
3. 学会等名 TACT2021 (Taiwan Association for Coatings and Thin Film Technology) International Thin Films Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水徹英
2. 発表標題 この10年間に見るHiPIMS技術の進化～イオン化率と成膜速度向上の両立に向けて～
3. 学会等名 (社)日本トライボロジー学会, 機能性コーティングの最適設計技術研究会第13期 第1回(通算第18回)会合(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒川光, 山村雄大, 小宮英敏, 徳田祐樹, 寺西義一, 楊明, 清水徹英
2. 発表標題 基板入射イオンの選択性が及ぼすAlTiN硬質膜結晶成長への影響
3. 学会等名 一般社団法人表面技術協会第144回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小宮英敏, 寺西義一, Rafael Alvarez, Alberto Palmero, 楊明, 清水徹英
2. 発表標題 ミリメートルオーダー細孔内壁面におけるスパッタリング薄膜成長
3. 学会等名 一般社団法人表面技術協会第144回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 幹太, Nikolay Britun, 楊 明, 清水 徹英
2. 発表標題 ホロ-カソード型大電力パルス放電プラズマの時間分解発光分光分析
3. 学会等名 公益社団法人日本表面真空学会2021年学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

薄膜プロセス工学研究室HP https://simizutetuhide.wixsite.com/website
--

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
研究分担者	徳田 祐樹 (Tokuta Yuki) (30633515)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・研究開発本部機能化学材料技術部プロセス技術グループ・主任研究員 (82670)	
研究分担者	B R I T U N N i k o l a y (Britun Nikolay) (70899971)	名古屋大学・低温プラズマ科学研究センター・特任准教授 (13901)	

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			
スウェーデン	Linkoping大学			
スペイン	マドリード工科大学			