

令和元年6月12日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04229

研究課題名(和文)ヘリウムプラズマ照射によるタングステンの物性変化と高密度プラズマとの相互作用

研究課題名(英文) Helium irradiation effects on physical properties of tungsten and interaction with high density plasmas

研究代表者

梶田 信 (Kajita, Shin)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授

研究者番号：00455297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：タングステンへのヘリウム照射時に金属粒子(イオン及び中性粒子)の堆積を同時に実施した。その結果、巨大な繊維状ナノ構造が形成されることが明らかになった。通常の繊維状ナノ構造の形成レートに比べて100倍から100000倍速いレートで形成が進むことが明らかになった。その初期成長に着目すると、照射時間とともに指数関数的に増加し、厚さが時間の平方根に比例して増加する通常のタングステンナノ構造(ファズ)成長とは全く異なることが分かった。面方向での巨大ナノ構造の成長は、ミリメートルの規模で常に同じ方向性を持っており、プラズマ流の方向と一致していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合炉においては熱負荷が集中する箇所にタングステンという金属が利用され、核融合反応で生成されたヘリウムとの相互作用が重要な課題になっている。本研究では、核融合炉環境を模擬して、金属粒子(イオン及び中性粒子)の堆積とヘリウム粒子の同時照射を実施した。その結果、巨大な繊維状ナノ構造が形成されることが明らかになり、通常の繊維状ナノ構造の形成レートに比べて100倍から100000倍速いレートで形成が進むことが明らかになった。この成長促進効果は核融合炉環境で起こる懸念があるとともに、ナノ構造材料の産業応用を考えると短時間で材料作製ができる可能性があり、今後のメカニズムの調査等が期待される。

研究成果の概要(英文)：Deposition of metal particles (ions and neutrals) was carried out simultaneously with helium irradiation on tungsten. As a result, it was revealed that huge fibrous nanostructures were formed. It was revealed that the formation proceeded at a rate 100 to 100,000 times faster than the formation rate of ordinary fibrous nanostructures. Focusing on its initial growth, it is found that it is quite different from the usual tungsten nanostructure (fuzz) growth, which increases exponentially with the irradiation time and thickness increases in proportion to the square root of time. It is revealed that the growth of large-scale nanostructures in the plane direction always has the same direction on the millimeter scale and is consistent with the direction of plasma flow.

研究分野：プラズマ・核融合

キーワード：ヘリウム タングステン ナノ構造 核融合 プラズマ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合炉において、炉心プラズマの性能の向上のためには、コアプラズマのみならず、プラズマが材料と接触するダイバータ部における物理の理解が不可欠である。国際熱核融合実験炉 ITER においては、ダイバータ材料にタングステンが採用されているが、タングステンにおいても、Edge Localized Mode (ELM) やディスラプションと呼ばれる間歇的な現象に伴う熱粒子負荷によるクラックや溶融等の影響が懸念されている。

2000 年代半ばから、申請者らの研究グループを中心にヘリウムプラズマとタングステンの相互作用が詳細に調べられ、ヘリウムプラズマ照射によりタングステン表面にナノ構造が形成されることが明らかにされてきた。ナノ構造が形成されると、タングステンの物性が著しく変化する。例えば、材料の密度はおよそ一桁減少し、それに伴い、熱伝導率は著しく減少し、またスパッタリング率の減少、二次電子放出係数の減少、粒子反射率の減少等が起こることが明らかになっている。さらに光学的な特性、光学的反射率や輻射率（エミッシビティ）も大きく変化する。ナノ構造化に伴うこれらの材料物性変化は、材料とプラズマとの相互作用を大きく変えることになる。ITER を含む今後のダイバータにおいてもこのナノ構造化が起こる懸念があり、特に、ナノ構造化が起こった場合には、ELM 等に伴う間歇的な熱負荷による材料損傷過程が極めて深刻化する可能性がある。

このナノ構造化したタングステンと間歇的な熱負荷とプラズマ照射タングステンとの相互作用は、既にこれまで、パルスレーザーやパルスプラズマを用いて実施されてきた。ナノ構造が形成されていると、弱いパワーでの溶融、さらには、アーキングが発生することが明らかにされた。アーキングの発生には、ナノ構造の形成による電界電子放出の増加や、熱伝導率の減少による異常な温度上昇が関与していることが示唆されている。アーキングに関しては申請者らにより詳細に研究が行われ、ナノ構造上では、単極アークというこれまで実験室プラズマ中では観測例のなかった現象が世界で初めての観察されている。しかし、これらの研究はまだ十分ではなく、現象の未だ不明な点が多い。特に、プラズマから材料へのエネルギー伝達や、発生したブルームによる熱シールドの効果は十分に理解されておらず、アーキングに関しては、発生頻度や、アーキングによる不純物の放出量はほとんどデータベースが無い状況である。

2. 研究の目的

本研究では、ダイバータ性能に大きな影響を与えるヘリウム照射により形成されるナノ構造タングステンに着目し、間歇的な熱負荷に晒された際の現象と影響を明らかにする。直線型ダイバータ模擬実験装置における実験を中心にして、ナノ構造体の材料物性、間歇的な熱流入過程を明らかにする。さらに、ナノ構造上で発生するアーキングに関して、その発生の頻度と条件を明らかにすると共に、材料物理及びプラズマ物理の観点から、そのメカニズムを議論する。実験結果から、タングステンの放出量を定量的に示し、炉心への影響を議論する。

3. 研究の方法

ヘリウムプラズマ照射を行ったナノ構造タングステンの物性を明らかにするとともに、名古屋大学で開発が進められてきた直線型装置 NAGDIS-II と NAGDIS-PG を用いて、間歇的な高密度プラズマとの相互作用を実験的に明らかにするとともにそのモデル化を行う。XPS を用いた仕事関数計測、電界電子放出特性の詳細計測、さらに、サーモリフレクタンス法を用いて熱伝導率の計測を実施する。定常プラズマ中での、電圧印加、パルスレーザー、パルスプラズマ照射時のアーキング発生条件と、発生頻度を明らかにし、プラズマとの相互作用によるタングステンの放出現象を実験的に詳細に観察し、定量的に明らかにする。

4. 研究成果

○ナノ構造層の物性評価

ヘリウムプラズマ照射を行ったナノ構造タングステンの物性を明らかにするとともに、直線型装置 NAGDIS-II において、間歇的な高密度プラズマとの相互作用を実験的に明らかにした。ヘリウム照射を行った金属ナノ構造材料の物性評価として、X 線光電子分光法(XPS)を用いて仕事関数を計測した。その結果、ヘリウム照射に伴い、タングステンにおいて約 0.5 eV 程度上昇することが明らかになった。加えて、ヘリウム照射を行ったタングステンにおいては、仕事関数が表面酸化が起こっても変化（減少）しにくいことが明らかになった。

W、Ta、Mo の試料にそれぞれナノ構造、突起状構造、ナノバブルを形成させた試料において電界電子放出特性を評価した。試料表面の凹凸の度合はナノ構造>突起状構造>ナノバブルの順である。放出電流の大きさには材料依存性があり、Ta > W > Mo の順であった。ナノバブル試料では電界電子放出が計測されず、突然ブレークダウンが発生し、試料表面にクレータが確認された。ブレークダウン後の放出電流の大きさは Mo が最も低かった。電子放出特性の比較により、電界電子放出電流の低減、それに伴うアークの抑制の面においては 3 つの材料中で Mo が最も良い特性を有することが分かった。

加えて、ピコ秒サーモリフレクタンス法を用いてナノ構造 W の熱伝導率の計測を行った。具体的には、ナノ構造が形成されていない裏面から、加熱用と計測用の 2 種類のパルスレーザーを照射し (RR モード)、温度変化のロックイン位相信号を得て、その結果とモデル計算とを比較し、ナノ構造層の熱伝導率を評価した。その結果、空孔率を 94%と仮定すると、熱伝導率は

約 2%程度になっており、ナノ構造化により熱伝導率が 2 桁程度減少していることが明らかになった。さらに、図 1(a)に示すように、ナノ構造の形成された表面からパルスレーザーを用いて加熱を行い、裏面からもう一台のパルスレーザーを用いてその反射率の変化から温度変化を計測し (FR モード)、その時間発展から熱伝導率を評価した。図 1(b)は、規格化したサーモリフレクタンス信号の時間発展である。時間と共に、温度が徐々に増加し、 $2 \mu\text{s}$ 程度で飽和していることが分かる。熱伝導率は、面積熱拡散時間法を用いて評価した。この手法では、図 1(b)の挿入図にあるように、規格化したサーモリフレクタンス信号の面積 A から、未知の熱物性を算出することができる。図 1(b)の信号から、 $A=7.0 \times 10^{-7} \text{ s}$ と求められ、そこから、熱伝導率 $1.5 (-0.6, +0.7) \text{ W/mK}$ 、熱拡散率 $9.2 (-3.5, +4.2) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ という値を得た。今回得られた値は、繊維状ナノ構造タングステン層の実際の平均熱伝導率に相当すると考えられ、ヘリウムプラズマ照射により、ナノ構造化が起こると熱伝導率が 1%以下になることが明らかになった。

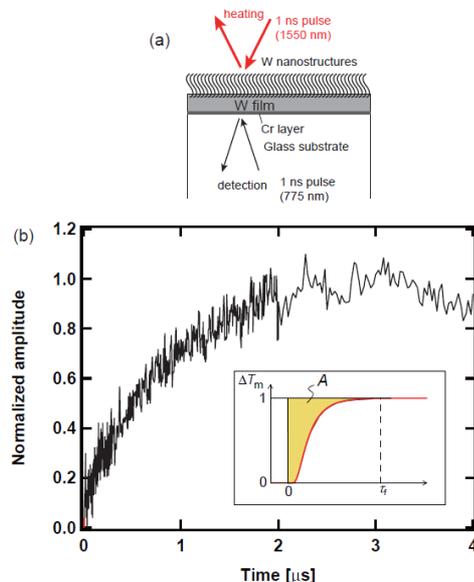


図 1: (a) 熱伝導率計測の概略図 (b) サーモリフレクタンス信号 (規格化後)

○間歇的熱負荷応答・アーキング

プラズマガン装置 NAGDIS-PG において、パルス熱負荷の蓄積において、ナノ構造の形成の有無による違いを実験的に調べた。 $250 \mu\text{s}$ のパルスプラズマに反応するためにフォトディテクタを用いた高速応答の測定装置によって試料の温度を測定し、プラズマ照射時の試料の背面温度を計測することで流入熱流の評価を行い、表面変化との関係性を調査した。ナノ構造形成によってパルスプラズマ流入時の実効的な流入熱流の増加を観測した結果、流入熱流の増加分の約 70%はナノ構造形成による表面のエネルギー反射係数の低下によるものであることが明らかになった。

入射イオンエネルギーをパルスのに変化させる実験を NAGDIS-II において実施した。試料に印加するバイアス電圧をパルスのに変化させる手法をとった。定常照射ではナノ構造を形成しない 20 eV 未満のヘリウムフルエンスの一部がナノ構造成長に寄与することが明らかになった。また本実験では序盤は照射量の 1/2 乗に従い成長しているが $\sim 0.5 \mu\text{m}$ 程度で飽和した。ナノ構造形成閾値より低い入射イオンエネルギーでの照射は一部以外は成長に寄与せず、アニーリングの影響を大きくするために早い段階での飽和が見られたのだと考えられる。またより高い温度では定常照射ならば温度、フルエンス共に成長に十分な値であるにも関わらずナノ構造が成長しなかった。これは温度の上昇によりアニーリングの効果が強まったためだと考えられる。

NAGDIS-II において、試料を 400-500 V 負にバイアスし、定常プラズマ照射を実施しアーキングの発生頻度、発生条件を明らかにした。その結果、アーク持続時間は 10 ms 以下であり、バイアス電圧が小さくなるにつれ、持続時間は短くなることが分かった。また、アーク電流の揺動の FFT 解析を行ったところ、揺動のスペクトルにフラクタル的な性質があることが見出された。

○巨大ナノ構造形成

タングステンへのヘリウム照射時に金属粒子 (イオン及び中性粒子) の堆積を同時に実施した。その結果、図 2 のような巨大な繊維状ナノ構造が形成されることが明らかになった。通常の繊維状ナノ構造の形成レートに比べて 100 倍から 100000 倍速いレートで形成が進むことが明らかになった。系統的な照射実験を行い形成条件を明らかにし、形成条件は通常の繊維状ナノ構造が形成される表面温度、入射イオンエネルギー共に同等であることが分かった。粒子を堆積させるような環境下ではこのような繊維状ナノ構造の形成速度が増加することになる。メカニズムとしては、タングステンナノ構造上部から供給されるため成長速度の低下が発生せず、さらに突出した個所はタングステンとヘリ

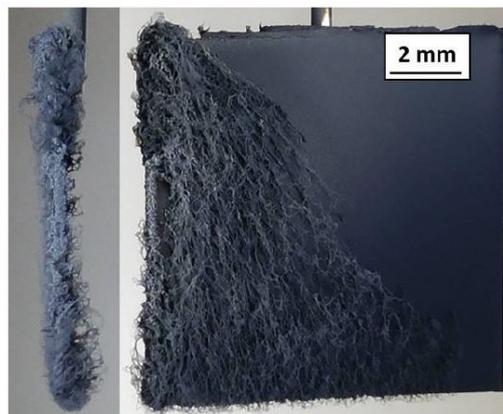


図 2: ヘリウムに加えてタングステンを降り積もらせた環境での表面構造の光学写真。

ウムのイオンの集中を受け、更に成長速度を増すのだと考えられる。

巨大な繊維状ナノ構造の初期成長に着目すると、照射時間とともに指数関数的に増加し、厚さが時間の平方根に比例して増加する通常のタングステンナノ構造（ファズ）成長とは全く異なることが分かった。構造が巨大化し、シースの厚み程度に至ると、その成長速度は高さ方向にはおよそ飽和し、同等の成長速度で材料の面方向へと方向を変えて成長していくことが示された。面方向での巨大ナノ構造の成長は、ミリメートルの規模で常に同じ方向性を持っており、プラズマ流の方向と一致していることが明らかになった。プラズマの流れによりナノ構造がイオンドラッグ力により方向性が決められていることが示唆された。走査型電子顕微鏡（SEM）および透過型電子顕微鏡（TEM）分析により、巨大ナノ構造の観察を行うと、ヘリウムバブルを伴う膜状ナノ構造が多く観察され、常に十nm程度の厚みを持っている子が示された。詳細な観察より繊維状になった構造にタングステンが堆積し膜が形成される過程が理解された。さらに、Heの入射イオンエネルギーがファズ成長のしきいエネルギー（20-30 eV）よりも低い場合でも、非常に多孔質の繊維状ナノ構造またはカリフラワー状構造が堆積層を構成することが明らかにされた。核融合炉においては、タングステンが再堆積する況があるが、その際にはヘリウム照射効果が著しく変化する可能性があることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 38 件)

- (1) S. Kajita, D. Hwangbo, N. Ohno: Ignition and Behavior of Arc Spots on Helium Irradiated Tungsten Under Fusion Relevant Condition, IEEE Trans. Plasma Science (in press).
- (2) N. Ohno, M Seki, H Ohshima, H Tanaka, S. Kajita, Y Hayashi, H Natsume: Investigation of recombination front region in detached plasmas in a linear divertor plasma simulator, Nuclear Materials and Energy 19, (2019) 458-462.
- (3) H. Tanaka, S. Kajita, N. Ohno: Characterization of He induced nanostructures using SEM image analysis, Plasma and Fusion Research 14:3402049 (2019)
- (4) S. Kajita, M.De Bock, M.Desjardins, R.Barnsley: Ray Trace Study for Visible Spectroscopy Reference System(VSRS) Diagnostics in ITER, Plasma and Fusion Research: Regular Articles, vol.14, 1405042-1-6, (2019/2)
- (5) S. Kajita, N.Yoshida, S.Kawaguchi, H.Tanaka, N. Ohno, D.Nagata, M.Tokitani: Growth of membrane nanostructures on W co-deposition layer, Nuclear Materials and Energy, vol.18, 339-344, (2019/1).
- (6) D.Hwangbo, S. Kajita, H.Tanaka, N. Ohno: Growth process of nano-tendrils with sputtered tungsten, Nuclear Materials and Energy, vol.18, 250-257, (2019/1)
- (7) D.Nishijima, A.Kreter, M.Baldwin, D.Borodin, A.Eksaeva, D.Hwangbo, S. Kajita, M.Miyamoto, N. Ohno, M.Patino, A.Psopieczczyk, M.Rasinski, T.Schlummer, A.Terra, R.P.Doerner: Influence of heavier impurity deposition on surface morphology development and sputtering behavior explored in multiple linear plasma devices, Nuclear Materials and Energy, vol.18, 67-21, (2019/1).
- (8) D.Bulgadaryan, D.Sinelnikov, V.Kurnaev, S. Kajita, D.Hwangbo, N. Ohno: Proton scattering from tungsten fuzz, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B-BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, vol.434, 9-12, (2018/11)
- (9) S.A.Barengolts, G.V.Mesyats, M.M.Tsventoukh, S. Kajita, D.Hwangbo, N. Ohno: Effect of the Nanostructured Layer Thickness on the Dynamics of Cathode Spots on Tungsten, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, vol.46, 4044-4050, (2018/11)
- (10) T Nojima, S. Kajita, N Yoshida, S Kawaguchi, N. Ohno, H Tanaka: Nanostructure Growth on Rhodium/Ruthenium by the Exposure to He Plasma, Plasma and Fusion Research 13, 3406065-3406065 (2018).
- (11) H.Ohshima, S. Kajita, H.Tanaka, N. Ohno, H.J.Van der Meiden: Thomson Scattering Measurement of Two Electron Temperature Components in Transition to Detached Plasmas, Plasma and Fusion Research: Rapid Communications, Vol.13, 1201099, (2018/8).
- (12) S. Kajita, S.Kawaguchi, N.Yoshida, N. Ohno, H.Tanaka: Morphologies of co-depositing W layer formed during He plasma irradiation, Nuclear Fusion, Vol.58, 106002, (2018/7)
- (13) D.Hwangbo, S. Kajita, N. Ohno, P.McCarthy, J.Bradley, H.Tanaka: Growth of nano-tendrils on tungsten with impurity-rich He plasmas, Nuclear Fusion, vol.58, 096022, (2018/7).
- (14) S. Kajita, K.Suzuki, H.Tanaka, N. Ohno: Helium line emission spectroscopy in recombining detached plasmas, Physics of Plasmas, vol.25, 063303-1-8, (2018/6).
- (15) D.Hwangbo, S. Kajita, S.A.Barengolts, M.M.Tsventoukh, S.Kawaguchi, V.G.Mesyats, N. Ohno: Ignition and erosion of materials by arcing in fusion-relevant conditions, Contrib. to Plasma Physics, vol.58, 608-615, (2018/5).
- (16) S. Kajita, T.Nojima, Y.Tomita, N. Ohno, H.Tanaka, N.Yoshida, M.Yajima, T.Akiyama, M.Tokitani, T.Yagi: Fuzzy nanostructure growth on precious metals by He plasma irradiation, Surface and Coatings Technology, Vol.340, 86-92, (2018.2)
- (17) S. Kajita, E.Veshchev, M.De Bock, R.Barnsley, M.Von Hellermann, M.Walsh: Assessment and Mitigation of Wall Light Reflection in ITER by Ray Tracing, Fusion Science and Technology, , 1-10, (2018.2)

- (18) S. Kajita, S.Kawaguchi, D.Hwangbo, H.Tanaka, N. Ohno: Pulsation Effects of Incident Ion Energy on W Fuzz Growth, Plasma and Fusion Research:Rapid Communications, Vol.13, 125001(3 pp), (2018.1)
- (19) S. Kajita, S.Kawaguchi, N. Ohno, N.Yoshida: Enhanced growth of large-scale nanostructures with metallic ion precipitation in helium plasmas, Scientific Reports, Vol.8, No.1, 56, (2018.1)
- (20) S. Kajita, A.Ito, N. Ohno: Fractality and growth of He bubbles in metals, Physics Letters A, Vol.381, Issue 29, 2355-2362, (2017.8)
- (21) D.Hwangbo, S.Kawaguchi, S. Kajita, N. Ohno: Erosion of nanostructured tungsten by laser ablation sputtering and arcing, Nuclear Materials and Energy, Vol.12, 386-391, (2017.8)
- (22) L Marot, S Coda, S. Kajita, L Moser, R Steiner, E Meyer: TCV mirrors cleaned by plasma, Nuclear Materials and Energy, Vol.12, 605-610, (2017.8)
- (23) D.Hwangbo, S. Kajita, N. Ohno, D.Sinelnikov: IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.45, No.8, 2080-2086, (2017.8)
- (24) S. Kajita, T.Tsujihara, M.Aramaki, H.van der Meiden, H.Oshima, N. Ohno, H.Tanaka, R.Yasuhara, T.Akiyama, K.Fujii, T.Shikama: Behavior of 23S metastable state He atoms in low-temperature recombining plasmas, Physics of Plasmas, Vol.24, 073301(8 pp), (2017.6)
- (25) D.Sato, N. Ohno, F.Domon, S. Kajita, Y.Kikuchi, I.Sakuma: Increase in the energy absorption of pulsed plasma by the formation of tungsten nanostructure, Nucl.Fusion, Vol.57, 066028(8 pp), (2017.4)
- (26) S. Kajita, H.Tanaka, N. Ohno, "Tailoring of fuzzy nanostructures on porous tungsten skeleton by helium plasma irradiation", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.56, 030303 (4 pp), Feb. 2017.
- (27) S. Kajita, E. Veshchev, R. Barnsley, and M. Walsh, "Usage of Ray Tracing Transfer Matrix to Mitigate the Stray Light for ITER Spectroscopy", Contrib. Plasma Phys., 1–9 (2016) / DOI 10.1002/ctpp.201500124.
- (28) D.Sinelnikov, D.Bulgadaryan, D.Hwangbo, S. Kajita, D.Kolodko, V.Kurnaev, N. Ohno, "Arc tracks on nanostructured surfaces after microbreakdowns", Journal of Physics:Conference Series, Vol.748, 012012(6 pp), 2016.
- (29) M. Yajima, N. Ohno, S. Kajita, G. De Temmerman, K. Bystron, S. Bardin, T.W. Morgan, S. Masuzaki, "Investigation of arcing on fiber-formed nanostructured tungsten by pulsed plasma during steady state plasma irradiation", Fusion Engineering and Design 112 (2016) 156–161.
- (30) M. Yajima, N. Yoshida, S. Kajita, and N. Ohno, "In Situ TEM Observation of Helium Bubbles Collapsing on Nanostructured Tungsten during Annealing", Plasma and Fusion Research 11 (2016) 1206125.
- (31) S. Kajita, A.Ohta, T.Ishida, K.Makihara, T.Yoshida, N. Ohno, "Increase in the work function of W/WO₃ by helium plasma irradiation", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.54, 126201(6 pp), Nov. 2015.
- (32) S. Kajita, T.Yagi, K.Kobayashi, M.Tokitani, N. Ohno, "Measurement of heat diffusion across fuzzy tungsten layer", Results in Physics, Vol.6, 877-878, Nov. 2016.
- (33) S. Kajita, T.Yagi, K.Kobayashi, M.Tokitani, N. Ohno, "Measurement of thermophysical property of plasma forming tungsten nanofiber layer", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.55, 056203 (5 pp), Apr. 2016.
- (34) S. Kajita, D. Hwangbo, N. Ohno, M.M. Tsventoukh, S.A. Barengolts, "Arc spot grouping: An entanglement of arc spot cells", Journal of Applied Physics, Vol.116, 233302 2015.
- (35) Y. Noiri, S. Kajita, N. Ohno, "Nanostructure growth by helium plasma irradiation to tungsten in sputtering regime", Journal of Nuclear Materials, 463 (2015) 285.
- (36) S. Kajita, T.Hatae, H.Tojo, A.Enokuchi, T.Hamano, K.Shimizu, H.Kawashima, "Performance of JT-60SA divertor Thomson scattering diagnostics", Review of Scientific Instruments, Vol.86, 083511(9 pp), Aug. 2015.
- (37) S. Kajita, N.Yoshida, N. Ohno, Y.Tsuji, "Growth of multifractal tungsten nanostructure by He bubble induced directional swelling", New Journal of Physics, Vol.17, 043038 (14 pp), Apr. 2015.
- (38) S. Kajita, Y.Noiri, N. Ohno, "Initiation of arcing on tungsten surface exposed to steady state He Plasmas", Physica Scripta, Vol.90, No.9, 095604(7 pp), 2015.

〔学会発表〕(計 20 件)

- (1) D.Hwangbo, D.Nishijima, S.A.Barengolts, S. Kajita, R.P.Doerner, H.Tanaka, N. Ohno, "Ignition and sustainment of arcing on nanostructured tungsten under plasma exposure", ISDEIV2018, Greifswald, Germany, Paper ID:11151,(2018/9)
- (2) D.Hwangbo, S. Kajita, H.Tanaka, N. Ohno, "Growth process of nano-tendrils bundles with sputtered tungsten", PSI2018, Princeton University, U.S.A., No.166 (2018/6)
- (3) S. Kajita, S.Kawaguchi, N.Yoshida, N. Ohno, "Directional growth of large scale nanostructures on metallic co-deposition layer", PSI2018, Princeton University, U.S.A., No.239(2018/6)
- (4) D.Nishijima, A.Kreter, R.P.Doerner, M.J.Baldwin, D.Borodin, A.Eksaeva, D.Hwangbo, S. Kajita, M.Miyamoto, N. Ohno, A.Pospieszczyk, M.Rasinski, T.Schlummer, A.Terra, "Influence of heavier impurity deposition on Cr sputtering under He plasma exposure in multiple linear plasma devices", PSI2018, Princeton University, U.S.A., No.181 (2018/6)
- (5) Y.Tomita, S. Kajita, E.Yasunaga, T.Yoshida, N. Ohno, H.Tanaka, "Fabrication of nanostructured TiO₂ by He plasma irradiation, " IS-PLASMA2018, 名城大学, 05P89 (2018.3)

- (6) T.Nojima, S. Kajita, N.Yoshida, N. Ohno, H.Tanaka, T.Akiyama, T.Yagi, "He Plasma Irradiation to Noble Metals, " IS-PLASMA2018, 名城大学, 06P01 (2018.3)
- (7) Y.Tomita, S. Kajita, N. Ohno, H.Tanaka, Y.Ichino, "Morphology changes of platinum and tungsten carbide by He plasma irradiation, " ITC-26/APFA-11, セラトピア土岐, P1-104 (2017.12)
- (8) T.Nojima, S. Kajita, N.Yoshida, S.Kawaguchi, N. Ohno, H.Tanaka, T.Akiyama, T.Yagi, "Nanostructure growth on rhodium/ruthenium by the exposure to He plasma, " ITC-26/APFA-11, セラトピア土岐, P1-105 (2017.12)
- (9) D.Hwangbo, S. Kajita, S.Kawaguchi, H.Tanaka, N. Ohno, "Growth of nano-tendrils bundles on tungsten in impurity-rich helium plasmas , " ICPiG2017, Estoril, Portugal, PIV.51 (2017.7)
- (10) S. Kajita, "Fuzzy nanostructure growth on precious metals by He plasma irradiation, " ICPiG2017, Estoril, Portugal, 招待講演 (2017.7)
- (11) S.Kawaguchi, S. Kajita, D.Hwangbo, N. Ohno, "Effect of incident ion energy pulsation on tungsten nanostructure formation", ISPlasma2017, 2017.3.1-5, Chubu University (Japan).
- (12) D.Hwangbo, S. Kajita, S.Kawaguchi, M.M.Tsvetoukh, S.A.Barengolts, N. Ohno, "Erosion properties of nanostructured tungsten by arcing under magnetic field", ISPlasma2017, 2017.3.1-5, Chubu University (Japan).
- (13) S. Kajita, T.Tsujihara, M.Aramaki, H.van der Meiden, H.Oshima, N. Ohno, R.Yasuhara, K.Fujii, T.Shikama, "Laser diagnostics in low-temperature recombining helium plasmas", ISPlasma2017, 2017.3.1-5, Chubu University (Japan).
- (14) Y.Hayashi, H.Nishikata, N. Ohno, S. Kajita, K.Jesko, H.Meiden, J.Vernimmen, T.W.Morgan, T.Iijima, A.Tonegawa, A.Okamoto, S.Kado, "Investigation of Detached Recombining Plasmas in a Linear Device Pilot-PSI and its Impact on Plasma Detachment in Fusion Devices", FEC2016, 2016.10.17-22, Kyoto International Conference Center (Japan).
- (15) D.Hwangbo, S. Kajita, N. Ohno, D.N.Sinelnikov, "Field Electron Emission from Metal Surfaces Irradiated with Helium Plasmas", ISDEIV2016, 2016.9.18-23(Suzhou, China).
- (16) D.N.Sinelnikov, D.G.Bulgadaryan, D.Hwangbo, S. Kajita, D.V.Kolodko, V.A.Kurnaev, N. Ohno, "Vacuum Breakdown from Nanostructured Fuzzy Surfaces", ISDEIV2016, 2016.9.18-23(Suzhou, China).
- (17) S.A.Barengolts, M.M.Tsvetoukh, S. Kajita, D.Hwangbo, N. Ohno, "Effect of Nanostructured Layer Thickness on Tungsten Surface on Cathode Spots Dynamics", ISDEIV2016, 2016.9.18-23(Suzhou, China).
- (18) D.Sinelnikov, D.Bulgadaryan, D.Hwangbo, S. Kajita, D.Kolodko, V.Kurnaev, N. Ohno, "Initiation of unipolar arcing on nanostructured fuzzy surfaces", PSI2016, 2016.5.30-6.3, Ponfificia Universita Urbaniana(Rome, Italy).
- (19) D.Hwangbo, S.Kawaguchi, S. Kajita, N. Ohno, "Erosion of nanostructured tungsten by ablation, sputtering and arcing", PSI2016, 2016.5.30-6.3, Ponfificia Universita Urbaniana(Rome, Italy).
- (20) S. Kajita, T.Yagi, K.Kobayashi, M.Tokitani, N. Ohno, "Measurement of thermophysical property of tungsten nanostructured layer by pulsed light heating thermoreflectance method", PSI2016, 2016.5.30-6.3, Ponfificia Universita Urbaniana(Rome, Italy).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：大野哲靖

ローマ字氏名：Ohno Noriyasu

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：60203890

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、研究者個人に帰属されます。