

令和 5 年 5 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01874

研究課題名（和文）金属堆積環境でのナノ構造加速成長と核融合炉への影響

研究課題名（英文）Accelerated Growth of Nanostructures in Metal Deposition Environments and Implications for Fusion Reactors

研究代表者

梶田 信 (Kajita, Shin)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00455297

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）：六方最密充填（HCP）結晶構造を持つルテニウム（Ru）とレニウム（Re）に低エネルギーヘリウム（He）プラズマ照射を実施し結晶方位を調べたところ、線状ナノファイバーの成長には、成長方向に優先的な結晶配向があり、常にHCP結晶のc軸方向であることが判明した。エピタキシャル成長を伴う先端成長過程により巨大ファズの生成が起こっていることが明らかになった。さらに、メッシュやNTBと呼ばれる突起構造を持つ試料への共堆積実験により巨大ファズの成長起点を明らかにすることができた。HeフラックスとWの堆積量が成長起点重要な役割を果た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

核融合炉におけるヘリウム照射効果が堆積環境だと大きく変化することが明らかになった。Heプラズマ照射によるファズの成長は10年以上前から研究されており、その知見が蓄積されてきたが、本研究で検討したように、実際の核融合装置で発生する堆積がHe効果を大きく変化させるため、堆積効果やスパッタリングの原因となる不純物を考慮したHe効果の再調査が重要であることがわかった。そしてそのファズ構造が加速成長するメカニズムを明らかにすることができ、今後この制御ができるようになれば、応用研究などにも利用することができるようになる。

研究成果の概要（英文）：Low-energy helium (He) plasma irradiation of ruthenium (Ru) and rhenium (Re) with hexagonal close-packed (HCP) crystal structure and crystal orientation revealed that the growth of linear nanofibers has a preferential crystal orientation in the growth direction, always in the c axis of the HCP crystal. It is clear that the formation of large scale fuzz nanostructure (LFN) is occurring due to the tip-growth process accompanied by epitaxial growth. The He flux and the amount of W deposited play an important role in the origin of giant fuzz growth.

研究分野：プラズマ，核融合

キーワード：プラズマ ヘリウム ファズ 共堆積

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

タングステンに表面温度 1000 K 以上で 30 eV 以上のヘリウムプラズマが照射されると、繊維状のナノ構造が形成されることが申請者らのグループにより発見され、熱物性等の著しい変化に伴い、核融合炉に深刻な影響を与える可能性が議論されてきた。この現象は、核融合分野以外にも、材料科学や産業応用の分野で興味を持たれ、繊維状ナノ構造の形成メカニズムとして、金属中でのヘリウムバブル成長を含む形成モデルが提唱されるとともに、光学材料、触媒 / 光触媒材料、ガスセンサ等の産業応用が模索されている。

そして近年、申請者らにより、タングステンが降り積もる共堆積環境において数十 μm の束状のナノ構造が成長すること、更にある状況においては成長速度が 2-5 桁上昇し、ナノサイズの構造体が目で確認できるミリスケールまで成長し、核融合炉においても、この加速度的なナノ構造体の成長が起こる可能性が示された。この共堆積環境におけるヘリウム照射効果はこれまでのヘリウム照射効果に対する理解を根本的に変える可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、共堆積環境における、ナノ構造層の加速成長メカニズム、共堆積ヘリウム効果の核融合炉への影響、加速成長条件の理解と制御性の解明を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、申請者らが所有し、高密度の定常プラズマが形成可能な直線型ダイバータ模擬装置(NAGDIS-II)における実験を基盤として、以下のことを実施してゆく。

(i) 共堆積層の詳細解析とシミュレーション

ヘリウムプラズマ中に微量の不純物(窒素, アルゴン, ネオン等)を導入しスパッタリングを誘起する条件, さらに, スパッタリングワイヤ(深く負にバイアスすることによりスパッタを誘起)を導入し, そこからスパッタリングによる金属原子を利用し共堆積環境を模擬し, 表面構造変化を調べる。表面構造の変化に関しては, 走査型電子顕微鏡(SEM)に加えて, 透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて実施する。さらに, TEMの回折像やEBSDを用いてナノ構造の結晶方位を特定し成長過程の理解につなげる。実験結果を踏まえ, 研究分担者の伊藤篤史准教授(核融合研)と協力し, 2体衝突近似(BCA), 分子動力学(MD), 動的モンテカルロ法(KMC)を組み合わせた3連BCA-MD-KMCハイブリッドシミュレーションに電場の効果を組み入れる等改良を施し, ナノ構造の高速成長プロセスを原子レベルのシミュレーションにより明らかにする。

(ii) 共堆積材料の物性評価及び熱パルス応答実験

2台のパルスレーザーを用いて温度変化の時間発展から熱伝導率を評価するパルス光加熱サーモリフレクタンス法を用いて形成された堆積層の熱伝導率を明らかにする。さらに, 真空中で試料(カソード)と電極(アノード)間に高電圧をかけ, 電界電子放出電流の電圧特性から, 電子放出開始電圧, 電界電子放出電流の増加率, 電界集中係数を明らかにする。

(iii) 共堆積環境での系統的实验とアニーリング実験

スパッタリングワイヤの形状や位置の依存性, ヘリウムフラックス, 堆積フラックス, 表面温度, 入射イオンエネルギー等を変化させながら系統的な実験を行う。加えて, 共堆積層のアニーリング実験を行い, ポーラスなナノ構造共堆積層の構造の耐熱性を明らかにする。

4. 研究成果

○ 共堆積層の詳細観察

本研究では、直線型装置 Co-NAGDIS を用いて、W 試料(10 mm 角、厚さ 0.1 mm)に対して、He プラズマとスパッタリング W の同時照射を行った。W 試料の近傍に設置された W 棒に負バイアスを印加することにより、スパッタリング W 原子を発生させ、He プラズマと共に W 試料に照射し、共堆積層を形成した。試料温度は核融合装置第一壁で想定される温度帯で制御した。図 1 に示すように、He-W 共堆積層は共に直径数 100 nm の突起状の構造が表面に見られ、温度上昇により、直径約 100 nm から

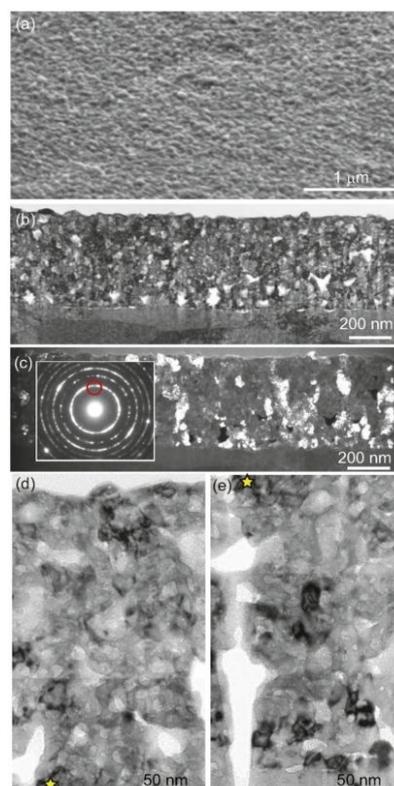


図 1: (a) 共堆積層を形成した He-W5 (500 で形成) 試料の SEM 顕微鏡。断面 TEM (b) BFI 像、(c) DF-TEM 像、(d, e) BFI の画像を拡大像。

200 nm ほどに成長し、表面全体に渡って、数十 nm ほどの大きさの He バブルが存在することが明らかになった。ヘリウム照射試料と共堆積試料、He-W2(200 で形成)、He-W4(300 で形成)及び He-W6(500 で形成)からの He 脱離量の温度依存性を調べた。温度の上昇速度は 0.5K/s であった。ヘリウム照射試料からは、350 K に小さなピークが現れた後、800 K 付近に別のピークが現れ、さらに 1300K 付近に小さな幅の広いピークが現れた。He-W 共堆積試料からの He 脱離は、これらの試料とは全く異なっていた。ピーク温度は 400 K 以下と 800K 付近にあり、脱離量はヘリウム照射試料よりもはるかに多い。また、He-W2 では 400K 以下に 1 つのピークが現れ、700K まで脱離が続いているが、He-W4 ではピークが広がり、900K まで脱離が続いた。また重水素においてもバルク W に比べ、共堆積層では吸蔵量が大きく上昇することが明らかになった。これらの堆積膜の吸蔵特性は核融合炉実機の粒子制御に影響を及ぼす可能性を示唆している。

○加速成長したファズのアニール実験

タングステンへのヘリウム照射時にタングステンを堆積させると、ナノ構造の成長が加速されることが明らかになってきている。タングステンをヘリウムプラズマに曝し、さらに W を堆積させることで、mm 厚のナノ構造ができることがわかっている。この巨大ナノ構造が、核融合装置で形成できるかは分かっておらず、アニール特性を理解することが重要である。本研究では、W の巨大ナノ構造 (LFN) の熱処理を実施した。図 2 に示すように、1273K までの熱処理中の LFN をその場 TEM で観察したところ LFN の全体的な形状はまったく変化せず、He バブルはナノファイバーから徐々に消失していった。また 1573K、30 分の熱処理中にナノファイバーの幅が明らかに変化し、ほとんど無くなった。1673K、30 分の熱処理後、He バブルは存在せず、繊維の幅が伸びた。詳細な観察により、LFN は従来のファズよりも速い速度で収縮していることが明らかになったが、厚みが桁違いになるため、表面に完全に再統合されるまでに時間がかかることが分かった。また、昇温脱離分析により、LFN 試料の He 保持量は従来の綿毛試料と比較して 2 倍以上であることが示された。この結果から、He 含有量はファズ層の厚みとともに増加し、厚い (10 μm 以上) ファズ層を形成すると、ファズ下の層のそれを超えることができることが示唆された。加えて、モリブデン (Mo) 基板にヘリウム (He) プラズマを照射し、補助的に Mo を堆積させた。その結果、タングステンとは異なり LFN の成長は容易でないことがわかった。Mo LFN 成長の実験条件は、Mo のファズ成長の実験条件よりもはるかに狭い条件であるか、あるいは、LFN の成長には別の隠れた制御因子が存在することが示唆された。

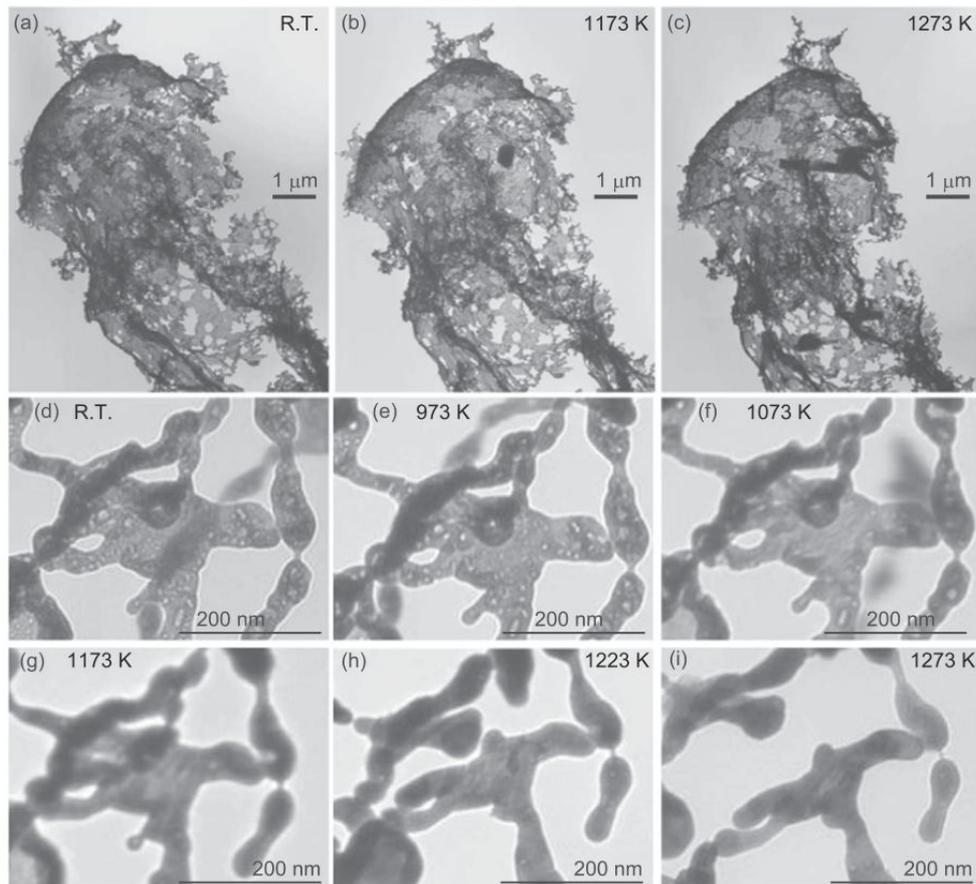


図 2 : 加熱ステージを使用して TEM 内で加熱中の LFN の TEM 画像。撮影時の温度は (a)、(d) 室温、(e) 973 K、(f) 1073 K、(b)、(g) 1173 K、(h) 1223 K、(c)、(i) 1273 K。

○共堆積環境でのファズの加速成長率

直線型プラズマ装置 Co-NAGDIS において、温度 1223K でヘリウム (He) -タングステン (W) 共堆

積実験を行い、補助的に W を堆積させた場合の W 表面のファズ成長の特性を観察した。W の堆積速度に対する依存性を調べたところ、He のみの実験と共堆積実験では、ファズの厚さに明確な違いが見られた。また、単一試料上のファズ構造は空間的に不均一な分布を示したが、これは堆積速度の不均一性に起因するものであることが分かった。タングステンへのネオン不純物ガスを添加したヘリウムプラズマ照射により、ナノテンドリルバンドル (NTB) が形成されることが知られている。試料温度 1473 ~ 1673K でアニール実験を行い、NTB の形態と電界電子放出特性の変化を調べた。W 表面に形成された NTB では、1673K で 1 時間アニールしても表面が平滑に回復せず、NTB は繊維状構造を保っていた。また、電界電子のオンセット電界は増加し、NTB からの発光電流はアニール後に著しく減少した。ヘリウムプラズマ照射中に試料を -250V でバイアスすると、NTB を含む W 表面ではアーク点孤が確認されたが、NTB をアニールした W 表面ではアーク点孤は確認されなかった。NTB の形成はアーク点孤の可能性を高め、ITER ダイバータに悪影響を及ぼす可能性があるが、アニールは NTB の悪影響を低減するために有用な方法であることが分かった。ITER では、高密度の水素プラズマを利用することでダイバータを加熱し、形成される可能性のある NTB 構造をアニールすることで NTB 形成の抑制と電界電子放出の低減を行うことが期待される。

○突起構造からのナノ構造の加速成長

タングステン (W) をヘリウム (He) プラズマで W 表面に堆積 (He-W 共堆積) すると、繊維状ナノ構造 (ファズ) の成長促進が起こり、ときには 0.1mm 以上の厚さの大規模ナノファズ構造 (LFN) へと成長する。本研究では、メッシュの開口数 (アパーチャー) を変え、高さ数十マイクロメートルのナノファイバー束であるナノテンドリルバンドル (NTB) を持つ W プレートを用いて、LFN 成長の起源となる条件を調査した。

W メッシュでは、全種類の W メッシュ上で巨大ファズの形成が確認され、目開きの大きなメッシュほど広範囲から巨大ファズの形成起点が生じ、形成速度が速くなる傾向が見られた。この理由として、目開きが大きくなるほど単位メッシュ面積あたりの W 表面積が減少し、流入するイオンフラックスが高くなることがあげられる。一方、NTB 形成試料では、図 3 に示すように NTB の成長が促進される様子が確認された。さらに He-W 共堆積プラズマを照射すると、成長した NTB 同士が絡まり合い、巨大ファズのような無数の繊維の集合体が形成されることが観察された。NTB の成長速度は、NTB の高さが増加すると共に形成速度が増加する傾向が見られ、高さが ~0.1 mm になると大幅に増加することが分かった。この結果は、シース厚さに近づくにつれ、NTB 先端部に形成される電場がイオン集中を引き起こし、成長が促進されたことを示唆している。

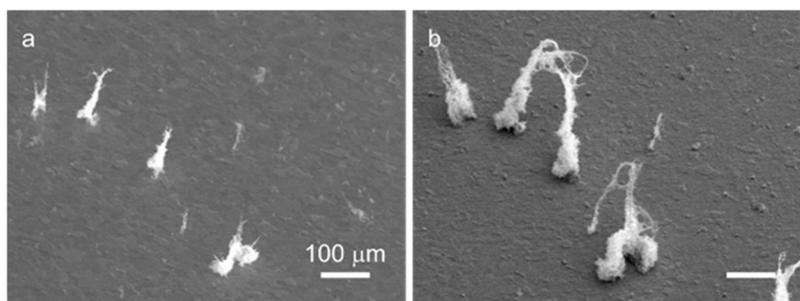


図 3 NTB への He-W 共堆積プラズマ照射前 (a) と照射後 (b) の SEM 画像

○半導体へのプラズマ照射応用研究

また、基板に Ar プラズマを照射し、不純物を堆積させるという簡単な方法で GaN の表面を改質した。結晶構造を劣化させることなく、少量の Mo の堆積によりユニークな構造を形成することができた。透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察とエネルギー分散型 X 線分光法 (EDS) 測定から、構造形成のメカニズムについて考察した。GaN 表面の粗さに基づき、光励起により紫外領域でランダムなレーザー作用を示すことを確認した。ランダムレーザー作用の最低閾値 (0.06J/cm²) は、構造のサイズが 0.05 μm² より大きいところで観測され、これは堆積量が最も少ない条件で形成されていた。プラズマ照射によって生成されたサブマイクロ/ナノサイズ構造と、レーザー照射の相関を詳細に評価した。このランダムレーザー作製技術は、様々なダイレクトバンドギャップ化合物半導体に広く適用できると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 KAJITA Shin, OKUYAMA Tatsuki, TANAKA Hirohiko, OHNO Noriyasu	4. 巻 16
2. 論文標題 Growth of Mo Large-Scale Fiberform Nanostructures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1206105 ~ 1206105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.1206105	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 -
1. 著者名 Kajita Shin, Okuyama Tatsuki, Tanaka Hirohiko, Kuwabara Tatsuya, Ohno Noriyasu, Yoshida Naoaki	4. 巻 96
2. 論文標題 Thermal treatment of W large-scale fiberform nanostructures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 094004 ~ 094004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ac0866	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 -
1. 著者名 KAJITA Shin, PANDYA Santosh P., O'CONNOR Richard, BARNSLEY Robin, ROGER Huxford	4. 巻 16
2. 論文標題 Investigation of Light Transmission Efficiency in ITER Hard X-Ray Monitor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1302106 ~ 1302106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.1302106	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 ZHANG Rongshi, KAJITA Shin, HWANGBO Dogyun, TANAKA Hirohiko, OHNO Noriyasu	4. 巻 16
2. 論文標題 Enhancement of Arc Ignition on Tungsten in Helium Plasmas with Impurity Gases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405069 ~ 2405069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2405069	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 -

1. 著者名 McCarthy Patrick、Hwangbo Dogyun、Kajita Shin、Bradley James W.	4. 巻 556
2. 論文標題 The effects of impurity gas seeding on the growth of fuzzy tungsten	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153125 ~ 153125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.153125	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 該当する

1. 著者名 Dhard C P、Brezinsek S、Mayer M、Naujoks D、Masuzaki S、Zhao D、Yi R、Oelmann J、Schmid K、Romazanov J、Pardanaud C、Kandler M、Kharwandikar A K、Schlisio G、Volzke O、Grote H、Gao Y、Rudischhauser L、Goriaev A、Wauters T、Kirschner A、Sereda S、Wang E、Rasinski M、Dittmar T、Motojima G、Hwangbo D、Kajita S	4. 巻 96
2. 論文標題 Plasma-wall interaction studies in W7-X: main results from the recent divertor operations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 124059 ~ 124059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ac35c0	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 該当する

1. 著者名 Kajita Shin、Morgan Thomas、Tanaka Hirohiko、Hayashi Yuki、Yoshida Naoaki、Nagata Daisuke、Vernimmen Jordy、Feng Shuangyuan、Zhang Rongshi、Ohno Noriyasu	4. 巻 548
2. 論文標題 Accelerated/reduced growth of tungsten fuzz by deposition of metals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152844 ~ 152844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.152844	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 該当する

1. 著者名 SHI Quan、KAJITA Shin、DAI Shuyu、FENG Shuangyuan、OHNO Noriyasu	4. 巻 23
2. 論文標題 Modeling of the impurity-induced silicon nanocone growth by low energy helium plasma irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Science and Technology	6. 最初と最後の頁 045503 ~ 045503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2058-6272/abea71	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 該当する

1. 著者名 Miyaguchi Kazuya, Kajita Shin, Tanaka Hirohiko, Ohno Noriyasu	4. 巻 60
2. 論文標題 Fabrication of nanostructured Ti thin film with Ti deposition in He plasmas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 038004 ~ 038004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe3a5	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 -

1. 著者名 OKUYAMA Tatsuki, KAJITA Shin, YOSHIDA Naoaki, TANAKA Hirohiko, KUWABARA Tatsuya, OHNO Noriyasu	4. 巻 16
2. 論文標題 Tungsten Large-Scale Fiberform Nanostructures Retained under High Temperature Conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1206001 ~ 1206001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.1206001	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 -

1. 著者名 Kulagin V.V., Sinelnikov D.N., Bulgadaryan D.G., Efimov N.E., Kurnaev V.A., Hwangbo D., Ohno N., Kajita S.	4. 巻 183
2. 論文標題 Nano-tendrils bundles behavior under plasma-relevant electric fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 109799 ~ 109799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109799	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 該当する

1. 著者名 Hwangbo Dogyun, Nishijima Daisuke, Kajita Shin, Doerner Russell P, Ohno Noriyasu	4. 巻 29
2. 論文標題 Unipolar arc plasmas on nanostructured tungsten surfaces under perpendicular magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 125015 ~ 125015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/abc817	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 該当する

1. 著者名 Zhang Rongshi, Hwangbo Dogyun, Kajita Shin, Tanaka Hirohiko, Ohno Noriyasu	4. 巻 25
2. 論文標題 Size distribution of nano-tendrils bundles with various additional impurity gases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100843 ~ 100843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100843	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 -

1. 著者名 Thompson Matt, Shi Quan, Kajita Shin, Ohno Noriyasu, Corr Cormac	4. 巻 17
2. 論文標題 Effect of temperature and incident ion energy on nanostructure formation on silicon exposed to helium plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Processes and Polymers	6. 最初と最後の頁 2000126 ~ 2000126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ppap.202000126	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 該当する

1. 著者名 Kajita S., Ogawa H., Kitazawa S.-I., Oikawa T., Veshchev E.	4. 巻 15
2. 論文標題 Performance of first mirrors for divertor impurity monitor in ITER: compensation of misalignment and effect of beam divergence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P11035 ~ P11035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/11/P11035	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 該当する

1. 著者名 Kajita Shin, Yoshida Naoaki, Ohno Noriyasu	4. 巻 25
2. 論文標題 Tungsten fuzz: Deposition effects and influence to fusion devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100828 ~ 100828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100828	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 Kajita Shin, Asai Kosuke, Ohno Noriyasu, Tanaka Hirohiko, Yoshida Naoaki, Nagata Daisuke, Yajima Miyuki	4. 巻 540
2. 論文標題 Helium-W co-deposition layer: TEM observation and D retention	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152350 ~ 152350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152350	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 -

1. 著者名 Kajita Shin, Passedat Gilles, Reichle Roger	4. 巻 160
2. 論文標題 Ray tracing study of ITER in-vessel lighting system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111787 ~ 111787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.111787	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 該当する

1. 著者名 YAJIMA Miyuki, KAJITA Shin, OHNO Noriyasu, MASUZAKI Suguru, YOSHIDA Naoaki, AUSSEMS Damien U. B., MORGAN Thomas W., BYSTROV Kirill, MEIDEN Hennie van der	4. 巻 15
2. 論文標題 Dust Formation from Arc Spots on Nanostructured Tungsten Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1205061 ~ 1205061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.1205061	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 Feng Shuangyuan, Kajita Shin, Yoshida Tomoko, Ohno Noriyasu, Nagata Daisuke, Tokitani Masayuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Thin film and noble metal loading effects on the photocatalytic reactivity of helium-plasma-induced nanostructured tungsten oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Research Express	6. 最初と最後の頁 075007 ~ 075007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1591/aba394	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 -

1. 著者名 Shi Quan, Kajita Shin, Ohno Noriyasu, Tokitani Masayuki, Nagata Daisuke, Feng Shuangyuan	4. 巻 128
2. 論文標題 The influence of impurities on the formation of nanocone structures on silicon surface irradiated by low energy helium plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 023301 ~ 023301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0010416	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19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 奥山樹、梶田信、吉田直亮、田中宏彦、大野哲靖
2. 発表標題 ヘリウムプラズマ誘起タングステン巨大ナノ構造形成とアニーリング効果
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Q.Shi, S.Kajita, N.Ohno, M.Tokitani, D.Nagata, S.Feng
2. 発表標題 The influence of impurities on the formation of nanocone structures on silicon surface irradiated by low energy helium plasma
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馮双園・梶田信・東正信・BIEBERLE, Anja・吉田朋子・大野哲靖
2. 発表標題 プラズマ誘起ナノ構造酸化タングステンを用いた光電気化学特性
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮口和也・梶田信・田中宏彦・安永円理子・吉田朋子・大野哲靖
2. 発表標題 プラズマ誘起ナノ構造を有する酸化チタン光触媒を用いたエチレン分解
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮口和也、梶田信、安永円理子、吉田朋子、田中宏彦、大野哲靖
2. 発表標題 He-Ti共堆積環境下におけるナノ構造Ti薄膜形成と光触媒作用によるエチレン分解
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江田智樹、梶田信、大野哲靖、田中宏彦
2. 発表標題 ヘリウムプラズマ照射によるバナジウム薄膜の表面構造変化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馮 双園、梶田 信、東 正信、Anja Bieberle、吉田朋子、大野哲靖
2. 発表標題 プラズマ誘起ナノ構造酸化タングステンの光触媒水分解への応用
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張容実、梶田信、皇甫度均、田中宏彦、大野哲靖
2. 発表標題 不純物添加ヘリウムプラズマ照射によるタングステン表面でのアーキング発生
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山樹、梶田信、吉田直亮、田中宏彦、大野哲靖
2. 発表標題 ヘリウムプラズマにより誘起された巨大タングステンナノ構造のアニーリングによる形態変化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 皇甫度均、西島大輔、梶田信、R.P.Doerner、大野哲靖
2. 発表標題 ナノ構造タングステン上で誘起されるアークスポットの運動および分光計測
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶田 信
2. 発表標題 ヘリウム-タングステン共堆積層とナノ構造の物性と核融合炉への影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮口和也・梶田信・田中宏彦・安永円理子・吉田朋子・大野哲靖
2. 発表標題 エチレン光触媒分解におけるプラズマ表面改質TiO ₂ の酸化条件・表面構造最適化
3. 学会等名 第127回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R.Zhang, D.Hwangbo, S.Kajita, H.Tanaka, N.Ohno
2. 発表標題 Size distribution of nano-tendrils with various additional impurity gases
3. 学会等名 PSI2020(The 24th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S.Kajita, N.Ohno, N.Yoshida
2. 発表標題 Tungsten Fuzz: Deposition Effects and Influence to Fusion Devices
3. 学会等名 PSI2020(The 24th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Q.Shi, S.Kajita, S.Feng, N.Ohno
2. 発表標題 The Impurity Ratio Effect on the Formation of Si Nanocone Irradiated with Various Energy of Helium Ions
3. 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 S.Feng, S.Kajita, M.Higashi, A.Bieberle, T.Yoshida, N.Ohno
2 . 発表標題 Photoelectrochemical Properties of Plasma-Induced Nanostructured WO3
3 . 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 D.Hwangbo, D.Nishijima, S.Kajita, R.Doerner, N.Ohno
2 . 発表標題 Motion Analysis of Arc Spots on Nanostructured Tungsten under Axial Magnetic Field
3 . 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T.EDA, S.Kajita, H.Tanaka, N.Ohno
2 . 発表標題 Surface Structure Change of Vanadium Thin Film by Helium Plasma Irradiation
3 . 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 W.Shen, S.Kajita, Q.Shi, N.Yoshida, H.Tanaka, N.Ohno
2 . 発表標題 Effect of He-W Co-Deposition on Retention and Fuzz Formation
3 . 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021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
研究 分担者	八木 貴志 (Yagi Takashi) (10415755)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ長 (82626)	
研究 分担者	伊藤 篤史 (Ito Atsushi) (10581051)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究 分担者	大野 哲靖 (Ohno Noriyasu) (60203890)	名古屋大学・工学研究科・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
---------	---------