

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03511

研究課題名(和文)核融合プラズマ対向材料としてのベリリウムの特性評価

研究課題名(英文)Properties of Beryllium for Plasma Facing Material in Fusion Reactor

研究代表者

宮本 光貴 (Miyamoto, Mitsutaka)

島根大学・学術研究院理工学系・准教授

研究者番号：80379693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：現在建設が進む国際熱核融合実験炉(ITER)では、プラズマ対向材料としてベリリウムの使用が予定されており、ベリリウムに関しては、その取り扱い上の問題もあり、プラズマ表面相互作用(PSI)に関する実験的研究が遅れている。本研究では、これまでの科研費研究(若手研究(A))で培ったベリリウム含有試料の取り扱い技術やベリリウム堆積薄膜の特性評価の取り組みを発展させ、プラズマ対向材料としてのベリリウムの表面特性を評価した。特に、PSIで問題となる水素同位体挙動を定量的に評価するとともに、原子レベルでの組織観察を行い、微視的観点から現象のメカニズムを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合プラズマ対向材料としてのベリリウムに関連した系統的な研究は、世界的に見てもほとんど行われておらず、特に、照射材の微細組織観察の例は少なく、国内で十分な加工がおこなえる施設は量子科学技術研究開発機構の青森県六ヶ所サイトのみであった。本研究は、十分な安全対策のもと、ベリリウム試料の薄膜化加工を行い、材料の水素吸蔵メカニズムをナノレベルから解明することを目指した他に類を見ない研究を行った。現在建設中のITERではベリリウムが使用される予定であるが、本研究を通して得られた成果から、材料の劣化程度や寿命の予測、さらに最適化された使用条件の提案に貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：While beryllium will be used as armor materials for ITER plasma-facing components, available information about beryllium effects on plasma surface interactions is still limited due to the precautions concerning beryllium handling. In this study, we have developed the past efforts of Grant-in-Aid for Young Scientists (A), which cultivated the safety operation of the beryllium handling and revealed the surface properties of the beryllium deposited films, and investigated the surface properties of the bulk beryllium as a plasma-facing material in fusion reactors. Especially, the microstructure and the deuterium retention property in beryllium had been systematically investigated.

研究分野：核融合炉材料，プラズマ壁相互作用，

キーワード：プラズマ・壁相互作用 照射損傷 ベリリウム 電子顕微鏡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合炉研究において、プラズマとそれに対向する材料との相互作用(PSI)は、プラズマの閉じ込めおよび材料の損耗・劣化の両側面に係わる深刻な問題であり、炉の実現には、PSI の十分な理解が不可欠である。現在建設中の国際熱核融合実験炉(ITER)では、プラズマ対向材料として、熱・粒子負荷が大きいダイバータ板にはタングステンが、その他の大部分を占める第一壁にはベリリウムが使用される予定である。そのため、これらの材料のプラズマによる損耗と、それがプラズマに与える影響、さらにこのような材料が損耗・再堆積の過程を通し混合した場合の影響について評価する必要がある。しかしながらベリリウムに関しては、取り扱い上の問題もあり、大型装置では唯一 EU の JET への適用例があるのみで、高密度プラズマを用いた実験も、カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)の PISCES 装置において実施されているのみであった。また、個々の素過程を理解するための制御された系での実験室規模の実験も、その必要性は認識されながらも、系統的な研究の取り組みが遅れていた。

こうした観点から、我々のグループではこれまで、ベリリウム共存下での PSI 現象の重要性に着目し、平成 25~28 年度の科学研究費助成事業(若手研究(A))において、主にタングステン試料を対象に、ベリリウム混合高密度プラズマに試料を曝し、そこでの表面特性変化について評価してきた。その結果、材料の水素保持特性や表面組織がベリリウムの有無に支配されることを表し、現象の理解には、ベリリウム金属そのものの特性評価が重要であることが示された。加えて、安定した高性能プラズマの定常維持を目指す ITER においては、プラズマ対向面の大部分を占めるベリリウム第一壁が炉内の主要な PSI 現象を担うと考えられることから、これまでのタングステンドイバータに加え、ベリリウム壁を対象としたプラズマ壁相互作用の研究が不可欠であることが明らかとなっていた。

2. 研究の目的

国際熱核融合実験炉(ITER)では、プラズマ対向壁面の大部分にベリリウムタイルの使用が予定されているが、取り扱い上の問題もあり、プラズマ表面相互作用(PSI; Plasma-Surface Interaction)に関する知見は極めて乏しい。本研究では、これまでの科研究費助成事業(若手研究(A))で培ったベリリウム含有試料の取り扱い技術やベリリウム堆積薄膜の特性評価の取り組みを発展させ、プラズマ対向材料としてのベリリウムの表面特性を評価するものである。実験に際しては十分な安全対策を行ったうえで、特に、PSI で問題となる水素同位体挙動を定量的に評価するとともに、原子レベルでの組織観察を行い、微視的観点から現象のメカニズムを解明する事を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、取り扱いに注意を要するベリリウムを主要な研究対象とした。ベリリウムに関しては既に当研究室において使用実績があったが、その取扱量が増えるため、初年度には試料の準備、加工、および保管が十分安全に行える設備を整えた。既存の大型グローブボックスに、精密切断機を導入し、切断や研磨などの試料の前準備を、実験者と試料を完全に隔離した上で行えるようにした。また、試料の保管や廃棄物の管理のために排気機能付きの保管庫を整備した。さらに、研究期間中盤では、既存のイオン照射装置と昇温脱離実験装置をトランスファーロードにより結合し、イオン照射後の清浄な試料表面を大気曝露することなく、昇温脱離分析が可能なように超高真空内で装置間の試料搬送を可能なシステムを構築した。

データの取得については、一連の作業が十分安全に行えることを確認したうえで、ベリリウムバルクを用いた基礎的な照射データの収集から取り組み、順次、実験パラメータを拡張し、実際の核融合炉環境下で予想される複合的条件下でのデータ収集を行った。具体的には、ベリリウム・重水素それぞれの照射エネルギー(1~5 keV)、照射温度(室温~1000 K)、および照射量($1 \times 10^{18-23}$ ions/m²)の依存性を調べた。その他、カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)に設置されたプラズマ発生装置 PISCES における高密度プラズマ照射実験を実施した。さらに、研究期間の終盤では、金属 Be と比較して、熱的安定性に優れ、耐スウェリング特性が良好であることが知られているベリリウム金属間化合物(ベリライド)のプラズマ対向材料としての適用可能性を検討した。

4. 研究成果

(1) 本研究開始時には、既存の大型グローブボックスに、精密切断機を導入し、切断や研磨などの試料の前準備を、実験者と試料を完全に隔離した上で行えるようにした。図 1 には大型グローブボックスを用いた作業時の様子を示す。既に、ベリリウムの取扱い実績はあったが、本実験で新たに行う作業(電子顕微鏡内における昇温実験等)についても、ベリリウム取扱い中の環境濃度測定を(財)島根県環境保健公社により年 2 回実施し、何れの作業中もベリリウムは検出限界以下であることを確認した。また、研究期間中盤では、既存のイオン照射装置と昇温脱離実験装置をトランスファーロードにより結合し、イオン照射後の清浄な試料表面を



図 1 Be 取扱い作業時の様子。

大気曝露することなく、昇温脱離分析が可能なように超高真空内で装置間の試料搬送を可能なシステムを構築した。図2に新たに構築した装置の概略(a)および実際の装置の様子(b)を示す。各種分析機器の排気系はすべて集中配管として、装置とダクトの接続間にはプレフィルタを配置し、最終的にはHEPAフィルタを通し屋外へ排気した。本研究では、これらの装置を用いることで、一連の作業が十分安全に行えることを確認したうえで、試料の大気曝露の影響を排除した条件でのイオン照射後の昇温脱離実験を行えるようにした。

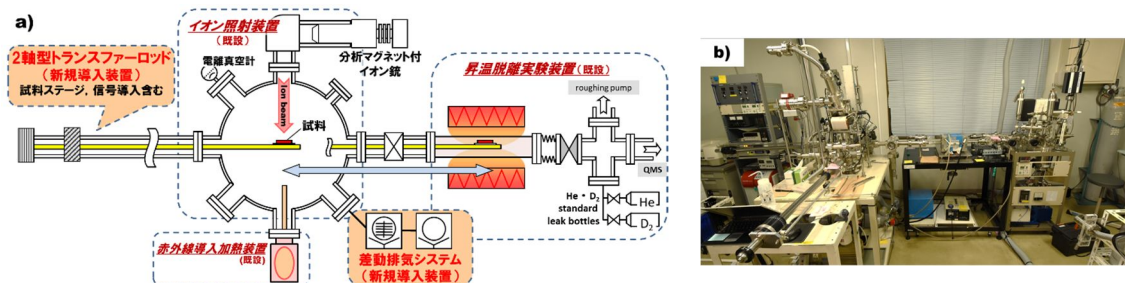


図2 新たに構築した装置の概略(a), および, 実際の装置の様子(b).

(2) 上述のように整備した各種装置を用いて、ベリリウム中の重水素やヘリウム保持特性評価、微細組織観察を行った。図3(a), (b)は、それぞれ3 keV-D₂⁺, および3 keV-He⁺を室温で照射したベリリウム試料を真空中で1 K/sの昇温速度で加熱した際のガス放出スペクトルを示す。重水素やヘリウムのどちらの場合も、照射量が小さいうちは、ほとんどのガス原子が高温側(>700 K)の放出に対応した強い捕捉サイトに優先的に捕捉されている。さらに照射量の増加に伴い低温側(500~650 K)の放出に対応する捕捉力の弱いサイトに多くのガス原子が捕捉されていることがわかる。本研究の範囲では低温側の放出がどのような機構に起因しているのかを明確にすることはできなかったが、照射により導入された各種格子欠陥に起因した歪場による捕捉が考えられる。一方、700 Kを超える高温側の放出に関しては、透過型電子顕微鏡を用いた照射後試料の昇温下のその場観察から、重水素、ヘリウムいずれの場合も試料中の空洞にガス原子が蓄積したバブルに起因するものであることが示された。さらにバブル内に捕捉された重水素とヘリウムは、昇温下での挙動に明確な違いがあることが明らかになった。図4には、重水素、およびヘリウムをそれぞれ照射したベリリウム試料中の(a)重水素バブル、および(b)ヘリウムバブルの昇温下での動的挙動の観察結果を示す。重水素バブルは昇温に伴い、バブル内から重水素が乖離し、バブルが縮小し消滅していくのに対し、ヘリウムバブルは、縮小することなく移動を伴う合体成長を続け、試料表面に到達することで消失している。この結果は、バブル内のヘリウムが重水素と比較して強く捕捉されている事を示すものであり、重水素とヘリウムバブルとの相違を直接的な手法で明確にした点で極めて有意義である。また、ヘリウム共存下における水素保持挙動について調べる目的で、ベリリウムバルク試料にヘリウム予照射後の重水素追照射を行い、水素保持特性に関するヘリウム予照射量依存性を調べた。その結果、ヘリウムの予照射量に応じて重水素保持量および表面損傷組織が変化することが明らかになった。図5には、ヘリウムを0~10²² He/m²の範囲で予照射した後

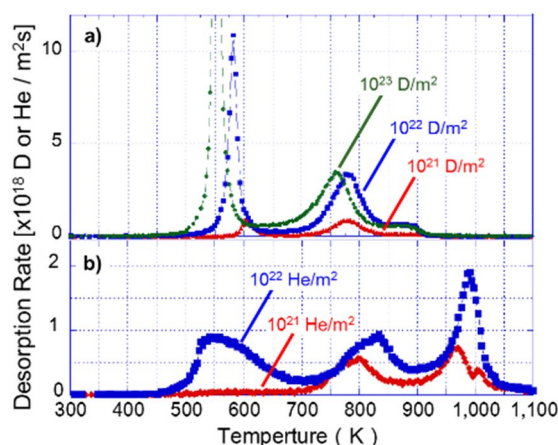


図3 重水素およびヘリウムをそれぞれ室温で照射したベリリウム試料における(a)重水素、および(b)ヘリウムの昇温脱離スペクトル。

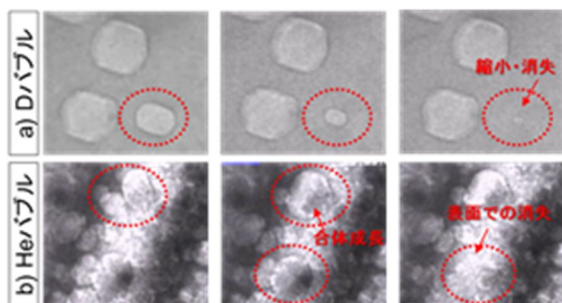


図4 透過型電子顕微鏡によりその場観察した(a)重水素バブル、および、(b)ヘリウムバブルの昇温下での消失過程。

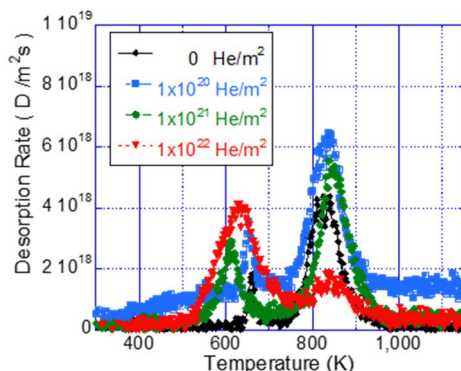


図5 ヘリウムを0~10²² He/m²の範囲で予照射後、重水素を1x10²¹ D/m²照射した試料からの重水素昇温脱離スペクトル。

に、重水素を 1×10^{21} D/m² 追照射した際の重水素放出スペクトルを示す。低ヘリウム照射量の場合、ヘリウム照射により誘起された欠陥が重水素の捕獲サイトとして機能するため、欠陥量に応じて水素保持量は増加したが、さらに高いヘリウム照射量においては、逆に水素保持量が減少する事を見出した。断面微細組織観察の結果、高ヘリウム照射した試料では、ヘリウムバブルが巨大なクラスターを形成し、水素の脱離経路として機能する事が示唆された。

さらに、本研究では、モノクロメータ搭載低加速原子分解能分析電子顕微鏡(京都大学)を用いて、材料中の水素同位体・ヘリウムの捕獲状態およびその存在位置を1nm以下の空間分解能で評価した。図6には、一例として高分解能分析電子顕微鏡を用いて得られた、重水素・ヘリウム複合イオン照射したベリリウム試料中のガスバブル近傍の(a)EELSスペクトル、(b)高角度散乱円環暗視野(HAADF)像、および(c)重水素と(d)ヘリウムの濃度分布像をそれぞれ示す。EELSスペクトルには重水素、およびヘリウム内殻電子励起による損失ピークが明瞭に見られる。スペクトルのマッピング解析から、ヘリウムがバブル内部に均一に存在しているのに対し、重水素はバブルの表面近傍に局在していることが分かる。これは、材料中の重水素が、ヘリウム共存下では、バブル内表面に局在して捕捉されることを世界で初めて観察した例である。ベリリウム中の水素、および、ヘリウムの存在状態評価については、令和2年度からの科学研究費助成事業(基盤研究(C))として継続的な取り組みが行われている。

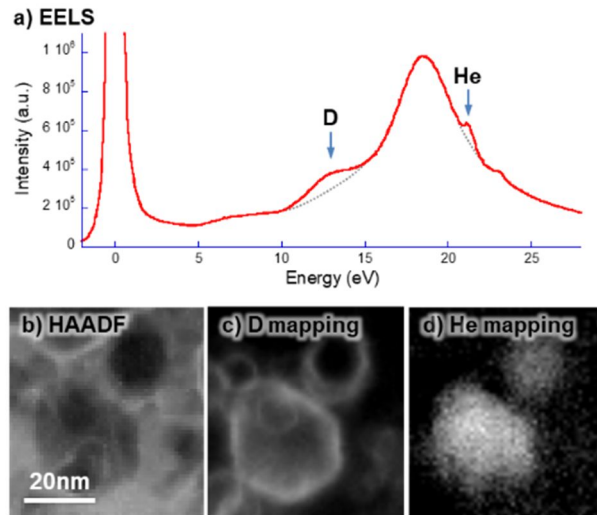


図6 重水素、および、ヘリウムイオンを逐次照射したベリリウム試料中のガスバブル近傍から得られた(a)EELSスペクトル、(b)高角度散乱円環暗視野(HAADF)像(暗いコントラストがガスバブルに対応)および(c)重水素と(d)ヘリウムの濃度分布像。

(3)本研究では、上述の制御された系におけるイオン照射に加え、ITERにおけるベリリウムプラズマ対向材料への混合プラズマ曝露の影響を高精度に予測するために、様々な条件下で高密度プラズマを用いた照射実験をUCSDの直線型高密度プラズマ発生装置PISCESにて行った。高密度プラズマに曝したベリリウム試料表面には、いずれも特異なコーン状組織の形成が観察された。特に $E_i \sim 100$ eV, $\phi_i \sim 1 \times 10^{26}$ D⁺/m², $T \sim 573$ KでD+He(~10%)混合高密度プラズマに曝した試料では、500nmを超える顕著なコーン状組織が観察された(図7)。断面TEM観察像の解析から、個々のコーンは結晶性を有しており、多くは基板の結晶方位と一致することが確認された。一方、プラズマ曝露前後の質量損失(図7の試料の場合 $\Delta m \sim -160$ μ g)からベリリウムの損耗量を評価すると、概ねコーンの高さに一致した。これらの結果から、コーン状組織はスパッタリング過程で形成したものだと考えられた。さらにSTEM-EDSを用いた元素マッピング測定の結果、各コーンの頂点にTaが局在していることが示された。なお、Taはプラズマ曝露時の試料ホルダーに使用されていたものである。Be試料表面に堆積した不純物重元素のTaがスパッタリングを抑制し、それ以外の部分が優先的にスパッタされることで、特異なコーン状組織の形成に至ったと考えられる。ITERにおい

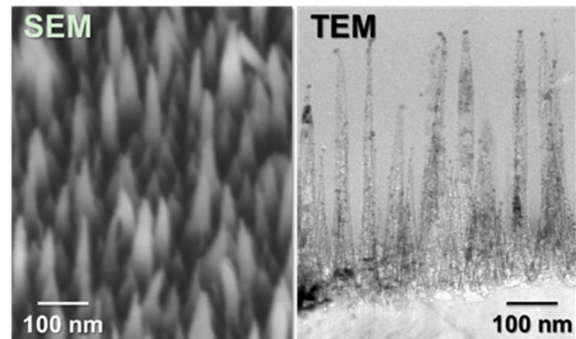


図7 高密度プラズマ(D+He(~10%), $E_i \sim 100$ eV, $\phi_i \sim 1 \times 10^{26}$ D⁺/m², $T \sim 573$ K)に曝したベリリウム試料の表面(SEM)および断面(TEM)組織。

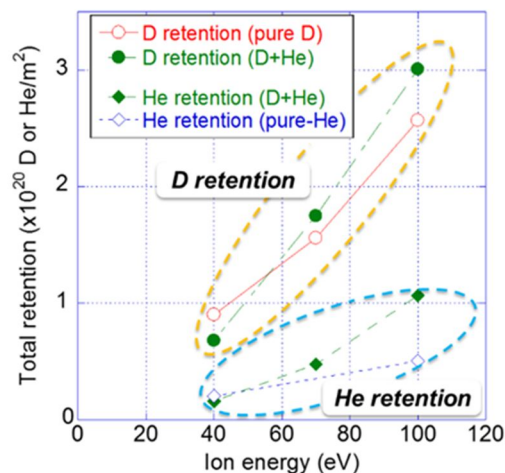


図8 各種高密度プラズマ($\phi_i \sim 1 \times 10^{26}$ D⁺/m², $T \sim 573$ K)に曝したベリリウム試料中の重水素、およびヘリウム総保持量。

ては、W が同時に使用されることから、同様に W を起点とした、スパッタリングによるコーン状組織の形成が予想される。図 8 には、各種高密度プラズマに曝したベリリウム試料について、昇温脱離法から求めた試料内に蓄積する重水素およびヘリウム保持量を示した。イオンエネルギーの増加に伴い、重水素およびヘリウムの保持量は増加し、 $E_i \sim 100\text{eV}$ では D+He 混合プラズマに曝した方が、高い保持量を示している。コーン状の組織形成は、エネルギーの増加や He の混合により顕著であり、これらの粒子保持量に影響しているものと考えられた。

(4) Be_{12}Ti や Be_{12}V に代表されるベリリウム金属間化合物(ベリライド)は、金属 Be と比較して、熱的安定性に優れ、耐スウェリング特性が良好であることが知られている。本研究ではベリライド試料への混合高密度プラズマ照射実験を行い、金属 Be と比較しながら表面変質を評価し、ベリライドのプラズマ対向材料としての適用可能性についても検討した。

図 9 に、各種プラズマに曝した Be_{12}Ti および Be_{12}V 試料の SEM による表面組織観察の結果を示した。なお、比較の為に昨年度の実験で得られた同条件でプラズマ曝した金属 Be の結果もあわせて示している。各種プラズマ

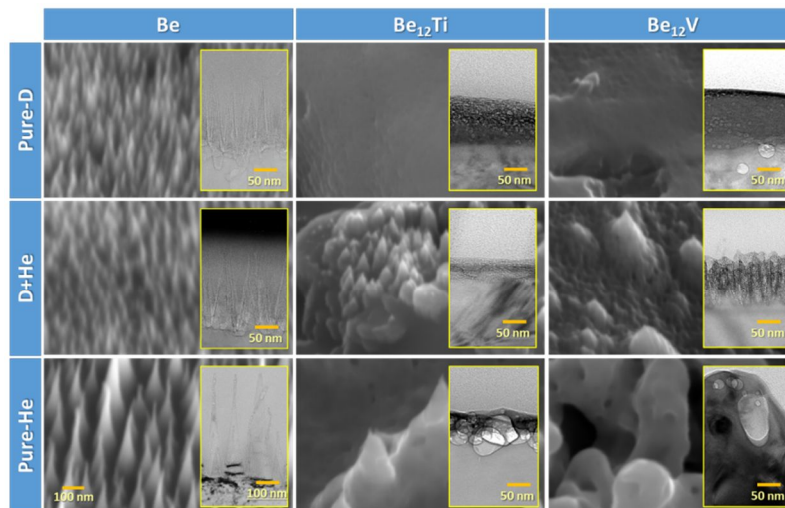


図 9 各種プラズマに曝した金属 Be, およびベリライド (Be_{12}Ti , Be_{12}V) 試料の表面組織および断面微細組織。

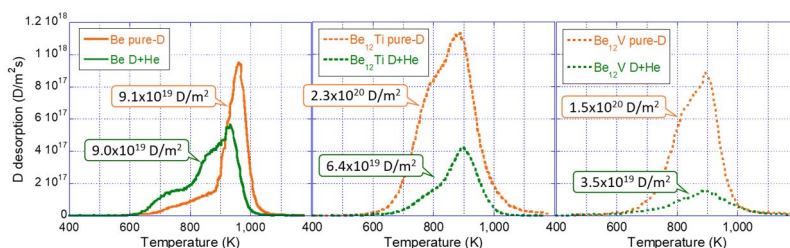


図 10 pure-D および D+He プラズマに曝した Be およびベリライド (Be_{12}Ti , Be_{12}V) 試料からの重水素昇温脱離スペクトル。

均質で緻密なコーン状組織が形成するのに対し、ベリライド試料においては、その形成が抑制されていることが分かる。特に pure-D プラズマに曝した Be_{12}Ti , および Be_{12}V においては、いずれも顕著な表面構造の変化は観察されず、平滑な表面構造が維持されることが明らかになった。また、D+He および pure-He プラズマに曝したベリライド試料においては、スパッタリングによると思われる比較的不均一な表面構造の変化が観察された。これらの表面形態の相違は、イオン種によるスパッタリング率の違いに加え、ベリライド中に含有する原子番号の大きい Ti や V によりスパッタリング損耗が軽減されたことに起因すると考えられる。また、図 1 には、これらの試料を FIB 薄膜化加工後に TEM を用いて断面微細組織観察した結果を黄色の枠線内に示している。pure-D プラズマに曝したベリライド試料においては、表面 100nm 程度にバブルを多量に含む損傷層が形成しており、 Be_{12}Ti 中のバブルは、 Be_{12}V と比較して、サイズが小さく、高密度に形成している様子が確認できる。一方、pure-He プラズマに曝したベリライド試料では 100nm を超える大きなバブルが形成しているが、これらの試料については、プラズマ曝露時の試料温度の上昇の影響を考慮する必要がある。図 10 には、pure-D および D+He プラズマに曝した各試料からの重水素の昇温脱離スペクトルをそれぞれ示した。pure-D プラズマに曝したベリライド試料は、金属ベリリウムと比較し、脱離ピーク温度は僅かに低いものの、いずれも大きな重水素脱離ピークを有しており、重水素の総放出量は金属 Be の 2 倍程度となった。ただし、D+He 混合プラズマに曝したベリライド試料からの重水素脱離ピークは大きく減少しており、ベリライド試料の重水素保持は、プラズマ中への He の混合により軽減されることが明らかになった。特に、D+He プラズマに曝した Be_{12}V の重水素保持量は、金属 Be の 1/2 以下となっている。金属 Be と比較した際のベリライド試料の低い水素保持量は、数 keV オーダーの重水素イオン照射実験においても同様に確認された。

Be_{12}Ti や Be_{12}V は、金属 Be に代わる核融合炉ブランケットの中性子増倍材料として研究開発が進められてきているが、上述の結果は、トリチウムリテンション抑制の観点から健全なプラズマ対向材料としてもベリライドの適応可能性を示唆するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nishijima D., Kreter A., Baldwin M.J., Borodin D., Eksaeva A., Hwangbo D., Kajita S., Miyamoto M., Ohno N., Patino M., Pospieszczyk A., Rasinski M., Schlummer T., Terra A., Doerner R.P.	4. 巻 18
2. 論文標題 Influence of heavier impurity deposition on surface morphology development and sputtering behavior explored in multiple linear plasma devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 67 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.12.008	査読の有無 無
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 Ono K., Miyamoto M., Kurata H., Haruta M., Yatomi A.	4. 巻 126
2. 論文標題 Dynamic behavior of helium bubbles at high temperature in Si studied by in situ TEM, STEM-EELS, and TDS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 135104 ~ 135104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5118684	査読の有無 無
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 Tokitani M., Miyamoto M., Masuzaki S., Hatano Y., Lee S E., Oya Y., Otsuka T., Oyaidzu M., Kurotaki H., Suzuki T., Hamaguchi D., Hayashi T., Asakura N., Widdowson A., Jachmich S., Rubel M., JET Contributors	4. 巻 T171
2. 論文標題 Surface morphology of the bulk tungsten divertor tiles from JET ITER-like wall	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 014010 ~ 014010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab3d09	査読の有無 無
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 Hanada K., Yoshida N., Hasegawa M., Hatayama A., Okamoto K., Takagi I., Hirata T., Oya Y., Miyamoto M. et., al.	4. 巻 59
2. 論文標題 Particle balance investigation with the combination of the hydrogen barrier model and rate equations of hydrogen state in long duration discharges on an all-metal plasma facing wall in QUEST	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076007 ~ 076007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab1858	査読の有無 無
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 Kim Jae-Hwan, Nakamichi Masaru	4. 巻 144
2. 論文標題 Effect of grain size on the sinterability and reactivity of vanadium-beryllium intermetallic compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 93 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.04.081	査読の有無 無
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 Kim Jae-Hwan, Nakamichi Masaru	4. 巻 146
2. 論文標題 Characterization of modified Be13Zr beryllide pebbles as advanced neutron multipliers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 2608 ~ 2612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.04.054	査読の有無 無
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 M. Tokitani, M. Miyamoto, S. Masuzaki, R. Sakamoto, Y. Oya, Y. Hatano, T. Otsuka, M. Oyaidzu, H. Kurotaki, T. Suzuki, D. Hamaguchi, K. Isobe, N. Asakura, A. Widdowson, K. Heinola, M. Rubel, JET Contributors	4. 巻 136
2. 論文標題 Plasma-wall interaction on the divertor tiles of JET ITER-like wall from the viewpoint of micro/nanosopic observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 199-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.01.051	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 Q. Xu, X.Y. Ding, L.M. Luo, M. Miyamoto, M. Tokitani, J. Zhang, Y.C. Wu	4. 巻 15
2. 論文標題 Thermal stability and evolution of microstructures induced by He irradiation in W-TiC alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 76-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.02.003	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 Petr Kurinskiy, Jae-Hwan Kim, Masaru Nakamichi	4. 巻 17
2. 論文標題 Effect of plasma sintering on densification and oxygen content of beryllium powder	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 206-210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.11.003	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 Jae-Hwan Kim, Mitsutaka Miyamoto, Masaru Nakamichi	4. 巻 125
2. 論文標題 Deuterium retention and desorption properties of ternary beryllide pebbles as advanced neutron multipliers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 541-544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2017.04.037	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 D.Nishijima, R.P.Doerner, E.M.Hollmann, M.Miyamoto	4. 巻 136
2. 論文標題 Laser-induced breakdown spectroscopy thickness measurements of films thinner than ablation rate	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part B	6. 最初と最後の頁 34-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sab.2017.08.007	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19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 時谷政行, 宮本光貴, 増崎 貴, 波多野雄治, 大矢恭久, 大塚哲平, 濱口 大, 黒滝宏紀, 小柳津誠, 鈴木卓美, 鈴木達也, 磯部兼嗣, 林巧, 朝倉伸幸, Anna Widdowson, Stefan Jachmich, Marek Rubel
2. 発表標題 JET-ILW実験で使用されたWダイパータイルおよびBeリミタイルの微細構造
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本有隆, 原 一智, 中道 勝, 金 宰煥, 宮本光貴
2. 発表標題 ベリリウムの水素・ヘリウム保持特性に与える高温照射の影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹本健太郎, 金 宰煥, 中道 勝, 宮本光貴
2. 発表標題 水素・ヘリウムを高温照射した先進中性子増倍材料の微細組織と水素保持特性
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芦沢京祐, 橋口昌治, 杉本有隆, 渡辺淑之, 宮本光貴
2. 発表標題 F82Hにおけるヘリウムバブルの動的挙動
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsutaka Miyamoto, Masaharu Hashiguchi, Yutaka Sugimoto, Yoshiyuki Watanabe
2. 発表標題 Formation and migration of helium bubbles in Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel F82H
3. 学会等名 19th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sugimoto, M. Miyamoto, M. Nakamichi, J. Kim, H. Kurata, M. Haruta
2. 発表標題 Deuterium and helium desorption behavior and microstructure evolution in beryllium during annealing
3. 学会等名 19th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金 宰煥, Masaru Nakamichi
2. 発表標題 R&Ds on Vanadium Beryllides as an advanced neutron multipliers for DEMO Fusion applications
3. 学会等名 第14回ベリリウム技術国際ワークショップ (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Nakamichi, Jaehwan Kim
2. 発表標題 CURRENT STATE AND STABLY SECURING OF BERYLLIUM RESOURCE FOR FUSION BLANKETS
3. 学会等名 19th International Conference on Fusion Reactor Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本光貴, 西島大輔, M.J. Baldwin, R.P. Doerner
2. 発表標題 高密度プラズマ照射したBeタイトルの微細組織と水素保持特性
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本有隆, 宮本光貴, 中道 勝, 金 宰煥, 倉田博基, 治田充貴
2. 発表標題 昇温時におけるベリリウム中の重水素及びヘリウムの脱離挙動と微細組織変化
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Nakamichi, Mitsutaka Miyamoto, Norihiro Murayoshi, Hiroto Iwakiri, Jae-Hwan Kim
2. 発表標題 Deuterium retention properties of beryllium intermetallic compounds
3. 学会等名 The Nuclear Materials Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本有隆, 宮本光貴, 中道 勝, 金 宰煥, 倉田博基, 治田充貴
2. 発表標題 ベリリウムにおける重水素およびヘリウム放出挙動のその場観察
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田伊久間, 杉本有隆, 宮本光貴
2. 発表標題 ベリリウムにおける重水素およびヘリウム放出挙動のその場観察
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jae-Hwan Kim, Mitsutaka Miyamoto, Masaru Nakamichi
2 . 発表標題 Hydrogen isotope retention and release properties of beryllium intermetallic compounds as advanced neutron multipliers for fusion applications
3 . 学会等名 12th International Conference on Tritium Science and Technology (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Miyamoto, D. Nishijima, M.J. Baldwin and R.P. Doerner
2 . 発表標題 Surface property of tungsten exposed to beryllium containing high density plasma in PISCES
3 . 学会等名 13th International Workshop on Beryllium Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Sugimoto, M. Miyamoto, Jae-Hwan Kim and M. Nakamichi
2 . 発表標題 Deuterium and helium retention properties in beryllium irradiated with low energy ions
3 . 学会等名 13th International Workshop on Beryllium Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Miyamoto, Y. Fujii, Y. Sugimoto, H. Iwakiri, J. Kim, M. Nakamichi
2 . 発表標題 Effects of Helium Irradiation on Hydrogen Retention Behavior in Beryllide Pebbles
3 . 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本有隆, 宮本光貴, 中道勝, 金宰煥, 倉田博基, 治田充貴
2. 発表標題 昇温時におけるベリリウム中の重水素及びヘリウムの脱離挙動と微細組織変化
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮本光貴, 藤井悠太, 杉本有隆, 岩切宏友, 金宰煥, 中道勝
2. 発表標題 ペリライドの水素保持特性に与えるヘリウム照射の影響
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017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	金 宰煥 (Kim Jaehwan) (80613611)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・六ヶ所核融合研究所 プランケット研究開発部・主任研究員(定常) (82502)	
研究分担者	時谷 政行 (Tokitani Masayuki) (30455208)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	
連携研究者	相良 明男 (Sagara Akio) (20187058)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授 (63902)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	中道 勝 (Nakamichi Masaru) (60343927)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・核融合エネルギー研究開発部門・グループリーダー (82502)	