

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14896

研究課題名(和文)希ガスプラズマの誘起する金属ナノ構造形成における原子空孔型欠陥発達過程の解明

研究課題名(英文) Study of development process of vacancy-type defects in rare-gas-plasma-induced metal-nanostructure formation process

研究代表者

藪内 敦 (YABUCHI, ATSUSHI)

京都大学・複合原子力科学研究所・助教

研究者番号：90551367

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：電子線や希ガスイオンを照射して形成される空孔型欠陥および照射後熱処理による2次欠陥の形成挙動の違いについて、陽電子消滅法を用いて調べた。タングステンへのHeイオン照射とNeイオン照射を比較した結果、照射直後に存在する欠陥種は同一であることが示唆されたが、それらを熱処理するとNeイオン照射の場合には空孔が凝集し空孔集合体を形成する様子が観測された。水中電子線照射したタングステンからは空孔-水素複合体と思われる欠陥が観測され、その欠陥複合体は623 Kから解離し始め空孔集合体を形成していく様子が観測された。また、試料純度が低い場合には熱処理過程における空孔集合体の形成が抑制される様子も観察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合炉ではプラズマ冷却ガスとしてNeガスの導入が検討されているが、このようなHやHeよりも重いイオンの導入はプラズマ対向壁であるタングステンに、より重大な損傷を与える可能性が示された。一方で、原子空孔と大きな結合エネルギーを持つ元素を意図的に添加することで、空孔集合体の形成を抑制し得る可能性も示された。

研究成果の概要(英文)：Vacancy-type defects formed by electron- or rare-gas-ion-irradiation and the differences in their development behaviors during the post-irradiation annealing process were investigated using positron annihilation spectroscopy. A comparison between helium- and neon-ion irradiated tungsten implied that the defect species are the same in both as-irradiated samples. However, in the case of neon-irradiated tungsten, in contrast to helium-ion irradiated one, the aggregation of vacancies and the formation of vacancy clusters were observed. Vacancy-hydrogen complexes were observed in tungsten irradiated with electrons in water, and the complexes began to dissociate from 623 K and formed vacancy clusters. In addition, when the sample purity was low, the formation of vacancy clusters was suppressed during the annealing process compared to the high-purity sample.

研究分野：格子欠陥

キーワード：タングステン 原子空孔 空孔-不純物複合体 照射損傷 陽電子消滅 第一原理計算

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、タングステン (W) にヘリウム (He) プラズマを照射すると照射温度に応じて W 表面に太さ数十 nm 程度の繊維状ナノ構造や直径 0.1-1 μm 程度の粒子状構造・ホール構造などが形成されることが見出された[1]。この表面損傷減少は核融合炉材料分野では W プラズマ対向壁へのトリチウム蓄積量を増大させてしまう可能性があるとして研究が進められている。また、国際熱核融合実験炉 (ITER) ではネオン (Ne) やアルゴン (Ar) がプラズマ冷却ガスとして導入されることが検討されており、これらのプラズマが W プラズマ対向壁に及ぼす影響の評価が求められている。He プラズマ照射の場合とは異なり、W への Ne プラズマ・Ar プラズマ照射ではこれまでのところ入射イオンエネルギーや照射温度の条件を変えてもナノ構造は形成されないことが報告されていた[2]。

この金属表面ナノ構造の形成初期過程には金属中でのボイドの形成・成長が関与していると考えられている。そのため各種金属において希ガスが形成するボイドの発達過程を理解することが、金属表面に所望のナノ構造を形成するためのプラズマ加工条件を探索する上で重要になる。しかし希ガス原子の W 中での空孔捕獲・ボイド形成やその成長に関しては、これまでに十分に調べられてき水素・重水素や He とは対象的に Ne や Ar についてはほとんど調べられていない。また、希ガス原子の振る舞いの金属種による違いについてもプラズマ対向壁候補材である W 以外の金属については理解が進んでいない。また近年の第一原理計算に基づく研究では、W 中における原子空孔同士の結合エネルギーが負になることが示され、原子空孔同士が反発することが予測されていた[3,4]。

2. 研究の目的

本研究ではタングステンを始めとした高融点金属における原子空孔型欠陥の発達初期過程に着目し、これを調べるためのプローブとして陽電子を用いた。陽電子消滅法は原子空孔型欠陥のサイズ情報とその周囲の元素情報を同時に高感度に引き出すことができる。本研究では、タングステン等に電子線や希ガスイオンなどの各種粒子線を照射して形成される空孔型欠陥および照射後熱処理による 2 次欠陥の形成挙動の違いについて、陽電子消滅法を用いて調べた。

3. 研究の方法

(1) 純度 99.999% の W 試料を 2473 K で焼鈍し初期欠陥を除去した後、He⁺イオンまたは Ne⁺イオンを 50 keV で室温照射した。その後、イオン照射試料には真空中で 900 までのいくつかの温度で、各温度 15 分ずつの焼鈍を施した。照射直後および各温度でアニール後に、イオン照射試料は低速陽電子ビームを用いて室温でプローブした。He⁺照射試料および Ne⁺照射試料への陽電子入射エネルギーはそれぞれ 8.5 keV および 6.0 keV に設定した。試料中から放出された陽電子消滅ガンマ線のエネルギー分布を Ge 半導体検出器で計測し、消滅ガンマ線ドップラー広がりスペクトルを取得した。

消滅ガンマ線のエネルギーは消滅相手の電子の持っていた運動量 (のガンマ線放出方向成分) を反映して 511 keV からドップラーシフトする。陽電子が空孔型欠陥に捕獲されずに消滅する場合には大きな運動量分布を持つ内殻電子との消滅割合が大きくなる一方で、陽電子が空孔型欠陥に捕獲されて消滅する場合には小さな運動量分布を持つ価電子との消滅割合が増大する。また、捕獲される空孔型欠陥のサイズが変化することで内殻電子や価電子との消滅割合は変化する。そのため欠陥種の違いによってドップラー広がりスペクトルの形状は変化する。本研究では、511 keV ピーク全体に対する中心部強度比および裾部強度比を表す S および W パラメータを用いてスペクトル形状を評価し、He⁺イオン照射と Ne⁺イオン照射の場合での照射欠陥の回復・発達挙動の違いを調べた。

(2) 純度 99.999% の W 試料を 2473 K で焼鈍し初期欠陥を除去した後、冷却水中で 8 MeV 電子線を照射 (照射温度 373 K) した。その後、電子線照射試料には室温から 1423 K まで温度 50 K 刻みで 15 分間ずつの等時焼鈍を施し、各温度で焼鈍後に室温で陽電子寿命を測定した。陽電子源にはポリイミドフィルムで密封した ²²NaCl 線源 (強度約 1 MBq) を用い、BaF₂ シンチレータを取り付けた 2 本の光電子増倍管とデジタルオシロスコープからなる陽電子寿命分光装置により陽電子寿命スペクトルを取得した。得られた陽電子寿命スペクトルは 2 つの指数成分に分離した。

陽電子寿命は試料中における陽電子周囲の電子密度に反比例するため、陽電子が空孔型欠陥に捕獲され消滅する場合にはその寿命が伸びる。そのため陽電子が空孔型欠陥に捕獲されない場合に比べ、陽電子が単原子空孔に捕獲されると陽電子寿命は伸び、空孔集合体に捕獲され消滅する場合にはさらに伸びることになる。また単原子空孔であっても、それが結晶中で孤立して存在する場合と、異種元素と結合した欠陥複合体として存在する場合には、そこでの陽電子寿命はそれぞれ異なる。したがって陽電子寿命を観察することで試料中に存在する欠陥種について調

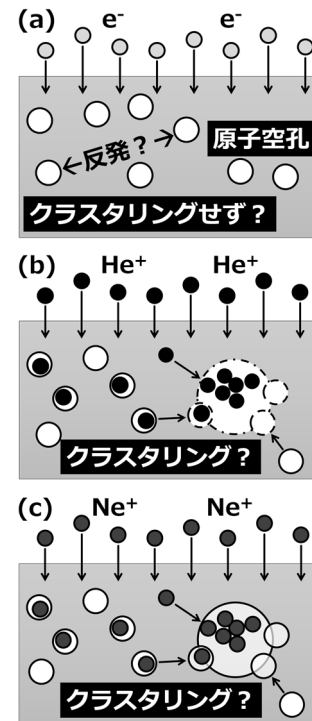


図 1. 各種粒子線照射により形成される空孔型欠陥の照射後焼鈍による変化の模式図

ることができる．本研究では第一原理電子状態計算コードを用いて W 中における空孔-不純物原子の結合エネルギーやそのような空孔-不純物複合体での陽電子寿命も計算し，実験結果の解釈に役立てた．また，試料中の不純物元素の影響について調べるため公称純度の異なる 2 種類の W 試料（純度 99.999% および 99.95%）に対し電子線照射し，等時焼鈍過程における陽電子寿命変化を比較した．

4. 研究成果

(1) 図 2 に He⁺照射 W および Ne⁺照射 W の S-W 相関の焼鈍温度による変化を示す [5]．図 2 には 2473 K での焼鈍のみを行い初期欠陥を十分に除去した未照射 W において陽電子入射エネルギー 1-4 keV で得た S-W 相関も示している．照射直後（20 の点）の He⁺照射 W および Ne⁺照射 W から得られた S-W は図 2 で傾き D₁ として示している．このことから照射直後の He⁺照射 W，Ne⁺照射 W 中に存在する欠陥種は同一である可能性が示唆される．照射直後の両試料のプロットは Ne⁺照射 W のほうが高い S（低い W）を示していることから，形成された欠陥種は同一であってもその濃度は Ne⁺照射 W のほうが高いことも示唆される．

He⁺照射 W を焼鈍していくと，その S-W は大きくは変化せず，最終的に 900 焼鈍で未照射 W の直線（傾き D₀）上にプロットされる．これは He⁺照射 W に形成された照射欠陥は 900 焼鈍により大部分が消失し，（陽電子拡散長が増大することで）表面での陽電子消滅の影響が現れ始めていると考えることができる．これとは対照的に，Ne⁺照射 W の S-W は焼鈍温度の上昇に伴い大きく変化している．300 焼鈍後には S-W は直線 D₂ 上にプロットされ，600 焼鈍後には直線 D₃ 上にプロットされる．900 焼鈍後の S-W は同一の直線 D₃ 上にプロットされるが，その位置は未照射 W（E=20 keV）の S-W の位置に大きく近づく．これらの S-W の変化から，照射誘起空孔が 300 焼鈍，600 焼鈍で凝集し，そのような空孔集合体の数密度は 900 焼鈍により減少するものの完全には消失しない，ということが示唆される．イオン種の違いによる 2 次欠陥の発達挙動の違いは，照射によって形成されるカスケードの大きさの違いが影響していることが考えられる [5]．以上のように，W において Ne⁺照射の場合には He⁺照射の場合と比べ，最終的に残存する 2 次欠陥には大きな違いが現れることが示された．

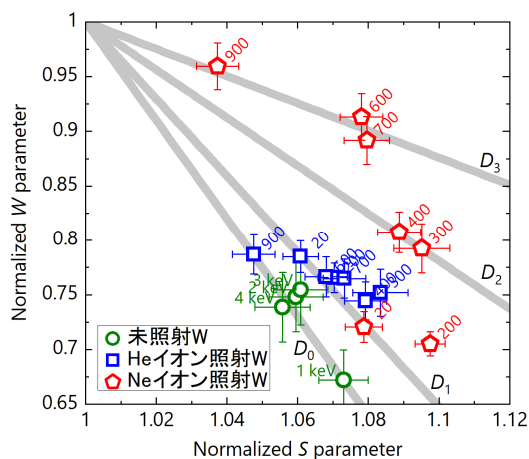


図 2. He⁺照射，Ne⁺照射 W および未照射 W の S-W 相関．照射後焼鈍の温度を各プロットの右上に単位で示している．未照射 W については陽電子入射エネルギーを各プロットの左上に示している．(S, W)=(1,1)の点は未照射 W において陽電子入射エネルギー E=20 keV(表面の影響を受けない E)で取得した S, W であり，すべての S, W は未照射 W の E=20 keV での S, W で規格化してある．

(2) W 完全結晶および W 中の孤立単空孔における陽電子寿命計算値はそれぞれ 101 ps および 195 ps であった [6]．これらの計算値は第一原理計算に基づく他の研究で報告されている値（完全結晶で 101-108 ps [7,8]，孤立単空孔で 193-200 ps [7-9]）とも同等である．図 3 に電子線照射 W で観測された陽電子寿命の短寿命成分 τ_1 ，長寿命成分 τ_2 ，および長寿命成分強度 I_2 の等時焼鈍過程における変化を示す [6]．323 K における長寿命成分 τ_2 の値は 170 ps (I_2 : 91%) であり，これは孤立単空孔の陽電子寿命計算値よりも大幅に短い．このことから，本研究で用意した電子線照射 W に含まれる欠陥は孤立単空孔ではなく，空孔-不純物複合体であると判断できる．

W 中で考えられるいくつかの不純物元素に関連した空孔-不純物複合体での陽電子寿命も計算したところ，置換型不純物との複合体では陽電子寿命の大幅な低下はみられず，観測された欠陥は侵入型不純物との複合体であることが予想された．侵入型不純物元素として水素(H)，炭素(C)，窒素(N)，酸素(O)を考え，それらと単空孔(V)との複合体での陽電子寿命を計算した．その結果，V-C，V-N，V-O 複合体での陽電子寿命計算値はそれぞれ 171 ps，170 ps，168 ps であり，ど

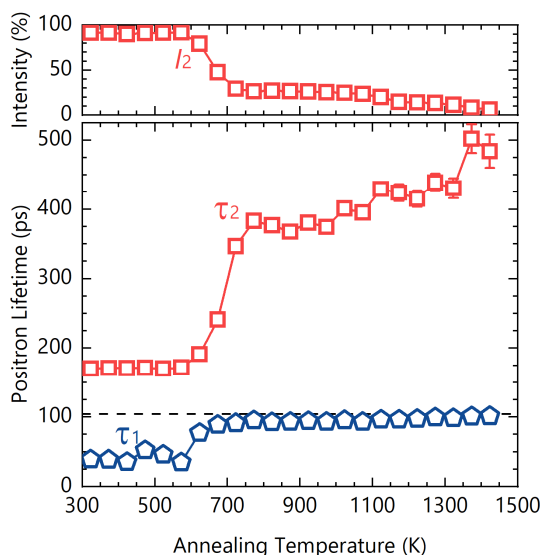


図 3. 電子線照射 W で観測された陽電子寿命の短寿命成分 τ_1 ，長寿命成分 τ_2 ，および長寿命成分強度 I_2 の等時焼鈍過程における変化．2473 K で焼鈍された未照射 W から得られた陽電子寿命(104 ps)を破線で示す．

れも実験で観測された陽電子寿命と近い値であった。また、V-H 複合体での陽電子寿命計算値は 184 ps までにしか短くならないものの、単空孔に 2 つの H 原子が結合した V-2H 複合体での陽電子寿命計算値は 169 ps となり、実験で観測された値に近づくことも示された。

W 中の単空孔は、室温や本実験の照射温度である 373 K では結晶中を移動できないため、電子線照射中に空孔-不純物複合体を形成するには不純物原子のほうが空孔まで拡散してくる必要がある。第一原理計算に基づく過去の研究で報告されている W 中の H, C, N, O 原子の拡散係数 [10-14] から照射温度である 373 K における 1 秒間での各元素の拡散距離を計算すると、それぞれ 12 μm , 1×10^{-4} nm, 8 nm, 28 μm であった。C 原子は本実験の照射温度ではほとんど移動できないのに対し、少なくとも H 原子や O 原子は照射中に容易に移動し空孔-不純物複合体を形成し得ると考えられる。

図 3 で τ_2 は 573 K までは 171 ± 1 ps (I_2 : $91 \pm 1\%$) で推移しているが、623 K から τ_2 が増大し始め、同時に I_2 は減少し始める。これは電子線照射で形成された空孔-不純物複合体が 623 K で解離し始めることを示している。熱脱離ガス分析法を用いた過去の研究では、W 中の空孔に捕獲された重水素は 600 K 付近で放出され、空孔からの重水素の解離エネルギーは 1.45-1.56 eV であると報告されている [15, 16]。一方、本研究で計算した V-H 複合体や V-2H 複合体の結合エネルギーおよび過去の研究で報告されている W 中の H 原子の移動エネルギー計算値 [10] から V-H 複合体や V-2H 複合体からの H 原子の解離エネルギーはどちらも 1.42 eV であると見積もられた。V-C, V-N, V-O 複合体からの不純物原子の解離エネルギーは 3.61-4.09 eV と見積もられたことから 600 K 付近での解離はないと考えられる。これらのことから本研究で用意した電子線照射 W で観察された 170 ± 1 ps の陽電子寿命を持つ欠陥種は V-2H 複合体であることが示唆され、等時焼鈍により欠陥複合体が解離し空孔が凝集していく様子が示された。

図 4 は、純度が 99.999% および 99.95% の W 試料への電子線照射後に等時焼鈍を行った際の、陽電子寿命スペクトルの長寿命成分 τ_2 およびその強度 I_2 の変化を示している。両試料とも 623 K から τ_2 が増大し始め、同時に I_2 が減少し始める。しかし 623 K 以降での τ_2 の増大の様子は両試料間で異なった挙動を示す。純度 99.999% 試料では、573 K で 172 ps であった τ_2 は 773 K で 383 ps にまで急激に増大する。この陽電子寿命は 9-13 個の単空孔が凝集した空孔集合体に相当する [7]。一方、純度 99.95% 試料の場合も 623 K から τ_2 の増大がみられるが、その増大ペースは緩やかであり、1073 K で τ_2 が 349 ps に達した時点でその強度 I_2 は約 8% にまで低下する。これは、試料中により高濃度に存在する不純物元素が空孔の移動を抑制し、空孔同士の凝集を遅らせたことが反映されていると考えられる。言い換えると、W 中に空孔と大きな結合エネルギーを持つ不純物元素を意図的に添加することで、照射欠陥の成長を抑制し得ることが示唆された。

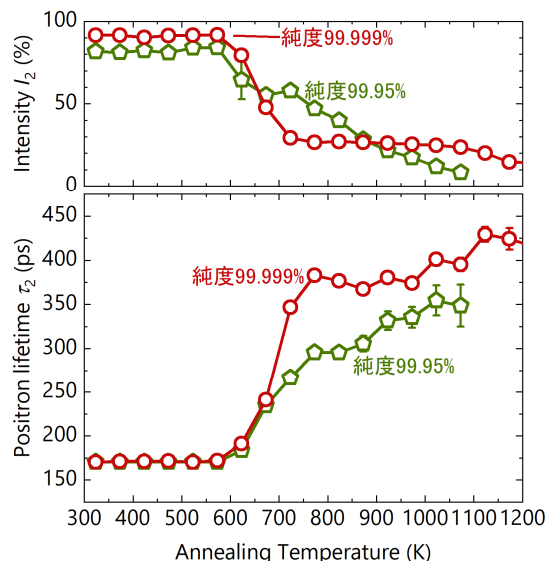


図 4. 公称純度 99.999% および 99.95% の電子線照射 W で観測された陽電子寿命の長寿命成分 τ_2 およびその強度 I_2 の等時焼鈍過程における変化。

(3) 最後に：本研究では電子線照射 W において τ_2 に対応する欠陥とは別の欠陥種の存在の示すデータや、タングステン以外の金属における照射欠陥の等時焼鈍過程での変化に関する知見なども得られているが、それらについては割愛した。

< 引用文献 >

- [1] S. Takamura *et al.*, Plasma Fusion Res. **1** (2006) 051. [2] M. Yajima *et al.*, Plasma Sci. Technol. **15** (2013) 282. [3] L. Ventelon *et al.*, J. Nucl. Mater. **425** (2012) 16. [4] Y. Oda *et al.*, Plasma Fusion Res. **9** (2014) 3401117. [5] A. Yabuuchi *et al.*, J. Nucl. Mater. **531** (2020) 152018. [6] A. Yabuuchi *et al.*, *submitted*. [7] T. Troev *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B **267** (2009) 535. [8] P. Staikov and N. Djourelov, Physica B **413** (2013) 59. [9] K. Sato *et al.*, J. Nucl. Mater. **496** (2017) 9. [10] K. Heinola and T. Ahlgren, J. Appl. Phys. **107** (2010) 113531. [11] Y.-L. Liu *et al.*, Comput. Mater. Sci. **50** (2011) 3213. [12] Y.-L. Liu *et al.*, Comput. Mater. Sci. **83** (2014) 1. [13] Y.-L. Liu *et al.*, Chin. Phys. B **21** (2012) 016105. [14] A. Alkhomees *et al.*, J. Nucl. Mater. **393** (2009) 508. [15] O.V. Ogorodnikova *et al.*, J. Nucl. Mater. **415** (2011) S661. [16] M. Zibrov *et al.*, J. Nucl. Mater. **477** (2016) 292.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 A. Yabuuchi, M. Tanaka, and A. Kinomura	4. 巻 531
2. 論文標題 Significant growth of vacancy-type defects by post-irradiation annealing in neon ion-irradiated tungsten probed by a slow positron beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Nucl. Mater.	6. 最初と最後の頁 152018(1-5)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jnucmat.2020.152018	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 M. Tanaka, A. Yabuuchi, and A. Kinomura	4. 巻 2182
2. 論文標題 Irradiation-induced vacancy defects and its recovery behavior in 5N-purity tungsten and 3N-purity tantalum	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 050014(1-4)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5135857	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 A. Yabuuchi, T. Yoshiie, and A. Kinomura	4. 巻 463
2. 論文標題 Contribution of cadmium to the total amount of positron creation in a reactor-based slow positron beamline	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B	6. 最初と最後の頁 40-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nimb.2019.11.028	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 A. Yabuuchi, R. Naka, K. Sato, Q. Xu, and A. Kinomura	4. 巻 461
2. 論文標題 Slow-positron beamline temperature rise reduction at Kyoto University Research Reactor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B	6. 最初と最後の頁 137-141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nimb.2019.09.036	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 A. Yabuuchi, S. Sakai, M. Mizuno, H. Araki, Y. Shirai	4. 巻 7
2. 論文標題 High-temperature in-situ measurements of thermal vacancies in a TiAl intermetallic compound using a desktop positron beam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JJAP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011102(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAPCP.7.011102	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 Y. Kuzuya, N. Oshima, A. Kinomura, and A. Yabuuchi	4. 巻 132
2. 論文標題 Design of an Acceleration Gap for Brightness Enhancement in a Reactor-Based Slow Positron Beamline	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Acta Phys. Pol. A	6. 最初と最後の頁 1620-1623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/APhysPoIA.131.1620	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 M. Maekawa, S. Sakai, S. Hagiwara, A. Miyashita, K. Wada, A. Kawasuso, A. Yabuuchi, and S. Hasegawa	4. 巻 2182
2. 論文標題 Magnetic Doppler broadening measurement on Gadolinium-doped GaN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 050007(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5135850	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 Y. Iwamoto, M. Yoshida, H. Matsuda, S. Meigo, D. Satoh, H. Yashima, A. Yabuuchi, A. Kinomura, and T. Shima	4. 巻 28
2. 論文標題 Measurement of Defect-induced Electrical Resistivity Change of Tungsten Wire at Cryogenic Temperature Using High-energy Proton Irradiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 061003(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.28.061003	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 -

〔学会発表〕 計39件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 松岡直希, 小川竜生, 杉田一樹, 水野正隆, 藪内敦, 木野村淳, 荒木秀樹
2. 発表標題 高エントロピー合金CoCrFeMnNi中の原子空孔挙動
3. 学会等名 令和元年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kinomura, S. Nakao, K. Suzuki, T. Sonoda, Y. Kuzuya, M. Nakajima, K. Ikeda, A. Yabuuchi, and K. Yasuda
2. 発表標題 Characterization of Diamond-Like Carbon Films by Slow-Positron and MeV Ion Beams to Investigate the Origin of Water Wettability
3. 学会等名 23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (IISC-23) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Karatsu, A. Yabuuchi, and A. Yabuuchi
2. 発表標題 Annealing behavior of vacancy-type defects in rare-earth implanted GaN studied by a slow positron beam
3. 学会等名 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Nakajima, A. Kinomura, A. Yabuuchi, and K. Kuriyama
2. 発表標題 Investigation of defect states in light-irradiated single crystal ZnO by low-temperature positron annihilation lifetime spectroscopy
3. 学会等名 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kinomura, A. Yabuuchi, K. Sato, and Q. Xu
2. 発表標題 Progress of the slow-positron beamline development at the Kyoto University research reactor
3. 学会等名 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚元隆太, 一宮正義, 藪内敦, 高宮幸一, 木野村淳, 柳沢淳一
2. 発表標題 Ge(110)表面への低エネルギーArイオン照射効果と陽電子消滅を用いた表面構造の研究
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 M. Nakajima, R. Taguchi, Y. Kuzuya, A. Yabuuchi and A. Kinomura
2. 発表標題 Improvement of positron lifetime measurement systems for the KUR slow positron beamline
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques & Applications (SLOPOS-15) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島諒, 木野村淳, 藪内敦, 栗山一男
2. 発表標題 陽電子消滅寿命法による光照射した化合物半導体ZnOの欠陥状態変化観測
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 数内敦, 唐津拓弥, 木野村淳, 前川雅樹, 河裾厚男
2. 発表標題 イオンビーム合成 -FeSi ₂ におけるAlドーブがもたらすFe空孔形成
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 数内敦, 義家敏正, 木野村淳
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームラインにおける陽電子生成シミュレーション
3. 学会等名 令和元年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, T. Yoshiie, and A. Kinomura
2. 発表標題 Monte Carlo simulation of positron creation and heat generation at the KUR reactor-based slow positron beamline
3. 学会等名 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, T. Yoshiie, and A. Kinomura
2. 発表標題 Estimation of the effect of positron production amount by installing Cd-cap in the KUR slow positron beamline
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques & Applications (SLOPOS-15) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 数内敦, 田中美穂, 木野村淳
2. 発表標題 陽電子寿命分光法による電子線照射タングステンの空孔回復挙動の評価
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 数内敦, 田中美穂, 木野村淳
2. 発表標題 電子線照射でタングステンに形成される欠陥の陽電子寿命法による評価
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Yabuuchi
2. 発表標題 Vacancy-type defects study in metals by using a positron beam
3. 学会等名 3rd Kyoto Workshop on Positron Sciences (KWPS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, R. Naka, T. Yoshiie, Y. Kuzuya, R. Taguchi, A. Kinomura
2. 発表標題 Development Status of the KUR Reactor-Based Slow Positron Beamline: Evaluation of Positron Source Temperature and Beam Intensity
3. 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Tanaka, A. Yabuuchi, A. Kinomura
2 . 発表標題 Irradiation-Induced Vacancy Defects and Its Recovery Behavior in High-Purity Tungsten
3 . 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Kinomura, A. Yabuuchi, K. Sato, Q. Xu
2 . 発表標題 Current status and prospect of the reactor-based slow positron beamline at Kyoto University
3 . 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kuzuya, N. Oshima, A. Kinomura, A. Yabuuchi
2 . 発表標題 Performance of brightness enhancement system for the KUR slow positron beamline
3 . 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Maekawa, S. Sakai, K. Wada, A. Miyashita, S. Hagiwara, A. Kawasuso, A. Yabuuchi, S. Hasegawa
2 . 発表標題 Magnetic Doppler Broadening Measurement on Gadolinium-doped GaN
3 . 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 藪内敦, 仲竜太朗, 義家敏正, 葛谷佳広, 田口遼, 木野村淳
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームラインの開発状況: 線源部温度とビーム強度に関する考察
3. 学会等名 第55回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前川雅樹, 境誠司, 萩原聡, 和田健, 宮下敦己, 河裾厚男, 藪内敦, 長谷川繁彦
2. 発表標題 スピン偏極陽電子ビームを用いたガドリニウム添加窒化ガリウム薄膜の空孔誘起磁性検出
3. 学会等名 日本物理学会第73回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口遼, 葛谷佳広, 中島諒, 藪内敦, 木野村淳
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームライン測定系のパラメータ最適化
3. 学会等名 日本物理学会第73回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藪内敦, 木野村淳, 前川雅樹, 河裾厚男
2. 発表標題 イオンビームを用いた -FeSi_2 薄膜の合成とその空孔型欠陥評価
3. 学会等名 QST 高崎サイエンスフェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中美穂, 藪内敦, 木野村淳
2. 発表標題 高純度タングステンにおける電子線照射誘起空孔の回復挙動
3. 学会等名 平成30年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口遼, 葛谷佳広, 中島諒, 藪内敦, 木野村淳
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームラインのパルス化電極に関する考察
3. 学会等名 平成30年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 来山雄太, 杉田一樹, 水野正隆, 荒木秀樹, 藪内敦, 木野村淳
2. 発表標題 電子線照射したSUS430ステンレス鋼の水素トラップ挙動
3. 学会等名 平成30年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藪内敦, 唐津拓弥, 木野村淳, 前川雅樹, 河福厚男
2. 発表標題 イオンビーム合成法で作製した γ -FeSi ₂ 膜中の空孔型欠陥評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, S. Sakai, M. Mizuno, H. Araki, and Y. Shirai
2. 発表標題 High-temperature in-situ measurements of thermal vacancies in a TiAl intermetallic compound using a desktop positron beam
3. 学会等名 3rd China-Japan Joint Workshop on Positron Science (JWPS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, T. Yoshiie, Y. Kuzuya, Y. Iwamoto, T. Sano, and A. Kinomura
2. 発表標題 The estimation of positron production and heat generation in KUR beam line by PHITS
3. 学会等名 International Workshop on Positron Studies of Defects 2017 (PSD-17) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 数内敦, 木野村淳, B.E. O'Rourke
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームラインパルス化装置の特性解析
3. 学会等名 第54回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 数内敦, 木野村淳
2. 発表標題 高融点金属中の格子欠陥除去の陽電子寿命法による評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Yabuuchi, A. Kinomura, M. Maekawa, and A. Kawasuso
2. 発表標題 Study of Ion-Beam-Synthesized γ -FeSi ₂ Films Probed by a Slow Positron Beam
3. 学会等名 International Workshop on Positron Studies of Defects 2017 (PSD-17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藪内敦, 仲竜太朗, 義家敏正, 葛谷佳広, 田口遼, 木野村淳
2. 発表標題 KUR陽電子ビームラインのビーム強度に対する線源部の影響評価
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藪内敦, 木野村淳, 前川雅樹, 河福厚男
2. 発表標題 イオンビーム合成法で作製した γ -FeSi ₂ 膜の低速陽電子ビームによる評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 葛谷佳広, 大島永康, 木野村淳, 藪内敦, 鈴木良一, 松本哲郎
2. 発表標題 京大原子炉低速陽電子ビームラインの輝度増強システムの開発の現状報告 ()
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 葛谷佳広, 大島永康, 木野村淳, 藪内敦
2. 発表標題 京大原子炉低速陽電子ビームライン輝度増強システムの開発の現状報告(3)
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仲竜太郎, 木野村淳, 藪内敦
2. 発表標題 KUR陽電子ビームラインの線源部温度とビーム強度の評価
3. 学会等名 平成29年度京都大学原子炉実験所専門研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 葛谷佳広, 大島永康, 木野村淳, 藪内敦
2. 発表標題 KUR低速陽電子ビームライン高輝度化装置の開発状況とリモデレータ処理
3. 学会等名 第54回アイソトープ・放射線研究発表会
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
---------	---------------------------	-----------------------	----