

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00359

研究課題名(和文) サブナノ分解能応力下その場観察法の開拓による新たな照射硬化機構の解明

研究課題名(英文) Revealing Irradiation Hardening Mechanisms by a new in-situ observation method with sub-nm scale resolution

研究代表者

永井 康介 (Nagai, Yasuyoshi)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：10302209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：我々が最近独自開発してきた「ウィークビーム走査型透過電子顕微鏡(WB-STEM)法」という新しい電子顕微鏡法の特徴を最大限活かし、従来法では解決困難だった応力下の変形に伴う諸問題を解決して、サブnmスケールの分解能を持つ新しい応力下その場観察法を実現した。この手法を用いて、原子炉材料の照射劣化で特徴的な、極めて微小な照射欠陥と転位との相互作用の動的可視化を可能にし、微小な照射欠陥が転位に絡み合い、転位が複雑に構造変化することによって移動が抑制されるといった、従来の古典的なモデルを超えた新たな照射硬化機構を提唱するに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用材料において従来の方法を大きく超える分解能を持った応力下その場観察法によって、照射による原子構造の乱れという微視的な変化を、原子炉材料の劣化(脆化、硬化等)を定量的に説明する新たな道筋ができた。これによって、原子炉の長期的安全性を劣化メカニズムに基づいて議論できるようになるという点において大きな社会的意義を持つとともに、新しい応力下その場観察法は原子炉材料以外にも様々な材料の劣化機構の研究に適用することができるという点で学術的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：We have successfully developed a new in-situ observation method under stress with very high spatial resolution (sub nm scale) using recently developed "Weak-Beam Scanning Transmission Electron Microscopy (WB-STEM)." WB-STEM method was very effective to overcome the difficulties on the distortion induced by local stress in the conventional in-situ observation methods. Employing the new method, we have revealed a new degradation mechanism of a neutron irradiated nuclear material, i.e. suppression of dislocation motions due to entanglement of irradiation induced defect clusters into the dislocations and their complicated structural changes, which is difficult to explain by the classical models.

研究分野：工学

キーワード：応力下その場観察 ウィークビーム走査型透過電子顕微鏡法 原子力材料 照射欠陥

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

福島第一原発事故以来、原子炉の安全性に対する社会的要請は極めて高く、その期待に応えることは原子力研究者にとって最も優先して行うべき課題の一つである。再稼働も進みつつあると同時に原子炉の高経年化も進み、安全機能に直結する原子炉材料の放射線（中性子等）による照射劣化を材料科学の観点から正しく理解・予測することは非常に重要である。また、半世紀にわたって世界の原子力を先導してきた日本は、今後世界で急増する高経年化原子炉の安全に対して、科学的側面から重要な責務を果たす必要がある。

原子炉特有の最も重要な劣化現象の一つが照射脆化（硬化）である。例えば、事実上の原子炉の寿命を決める交換不可能な構造部材である圧力容器は、中性子照射による脆化が最も重要な劣化事象であり、脆化の度合いは炉内に装荷した監視試験片によって確認されている。ところが、福島第一原発事故に前後して、従来の予測式を大幅に上回る脆化を示す例が報告され始めた。このように、脆化機構の本質の理解が喫緊の課題となっている。

照射脆化の特徴は、極めて微細（数 nm）な欠陥集合体（例えば、原子空孔集合体（ナノボイド）、格子間原子集合体（転位ループ）や不純物・溶質原子クラスター、それらの複合体など）の形成が直接的に寄与することである。これらは検出自体が難しく、長年の研究にもかかわらず、その正体が明らかになっていない場合が多い。しかし最近我々は、「ウィークビーム走査型透過電子顕微鏡（WB-STEM）法」という新しい顕微鏡法を世界に先駆けて開発し、原子炉材料のように複雑な組織や歪みを多くもった原子炉実用材料の微細な歪み場の定量観察に対して極めて有効であることを実証した。例えば、上記の圧力容器では脆化に大きな寄与はないとされていた微小な転位ループが多量に形成され、脆化の主因の一つであることを初めて実験的に明らかにした。これがきっかけで本手法は大変注目され、軽水炉の照射脆化の研究に留まらず、先進炉・核融合炉材料、HT-9 鉄基合金中の転位観察や炭化珪素中のショックレー型積層欠陥観察などの原子炉関連以外の材料にも応用を広げている。このように、照射材料に対する原子・ナノスケールの分析技術が大きく進展し、これまでわからなかった劣化の微細構造因子が次々と明らかになりつつあるのが現状である。

一般的に照射硬化は、材料中の転位と呼ばれる線欠陥が上記の微小な照射欠陥集合体と相互作用することで、その運動が阻害されることによって生じる。しかしながら、現状は、オロワン機構に代表される古典的なモデルを基に、強度因子をパラメータとして推定しているのみであり、分子動力学等によるシミュレーションは行われてはいるものの、原子スケールの硬化機構は実験的には殆ど明らかにされていない。寿命を全うしたプラントが殆ど存在していない原子炉にとって、将来の安全を担保するためには、照射硬化を機構から明らかにすることが極めて重要となっている。

この課題解決の最善の方法は「応力下のその場観察」である。なぜなら転位が応力下で移動し、数 nm の微細な照射欠陥と相互作用・構造変化する過程を、「サブ nm オーダー」の分解能で局所的な歪み場を直接動的に捕らえることができれば、古典的なモデルのパラメータに頼ることなく、個々の微小照射欠陥の機械的特性への寄与を評価できるからである。しかしながら、過去に、走査／透過電子顕微鏡で行われた応力下のその場観察では、いずれも大きな析出物や転位ループが転位および滑り面に及ぼす分散強化効果の可視化を数十 nm の分解能で行っているのみであり、数 nm 以下の照射欠陥に応用するには分解能が全く足りない。分解能があがらない原因は、応力下では  $\mu\text{m}$  サイズの試料が塑性変形することにより観察位置に非常に大きな変位（位置ズレと回転）が生じ、従来の顕微鏡法では応力印加その場観察中にサブ nm オーダーの空間分解能を維持し続けることは事実上不可能となるためである。

## 2. 研究の目的

本研究では、上記の不可能を可能にする方法を提案した。我々が開発した WB-STEM 法の大きな特徴（試料の変位に強く長時間分解能を維持できる等）を活かして、実用材料において世界最高水準（サブ nm スケール）の分解能をもった応力下その場観察法を実現し、この方法を用いて、原子炉の安全に直結する構造材料の未だ理解されていない新たな照射劣化機構を解明することを目的とする。例えば、原子炉圧力容器鋼中で照射誘起転位ループと転位が相互作用・構造変化する様子（局所的な歪み場）をサブ nm スケールの分解能で直接動的な観察を行い、「微小障害物デコレーション硬化」のような新たな転位運動に対する抵抗メカニズムを明らかにしようとする。

## 3. 研究の方法

本課題において、まず中性子照射材に適用できる応力印加下における転位組織の動的な観察のためのデバイス開発を実施した。当初計画では、高温その場観察用に保有している PID 温度制御付き等温・二軸傾斜試料ホルダにステップモーター/ピエゾ多段駆動機構を搭載し、試料薄片の両端を駆動ステージに固定しステージを離すことで引張応力を印加する予定であった。しかし、試料の固定が難しく研究期間内の駆動デバイスの開発が困難であると判明したため、一方の駆動ステージだけに試料を固定する駆動デバイスに変更した。放射化試料応用のため、汚染対

策として集束イオンビーム (FIB) 加工装置によるマイクロサンプリング試料が適用でき、さらに駆動ステージが取換え可能であるものとした。転位組織の観察方法には、我々のグループで開発した WB-STEM 法を用いた。なお、その場応力印加試験中の観察試料に生じる  $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$  の位置ズレ、 $\pm 0.5^\circ$  の回転を許容しつつサブ nm 分解能を実現するよう、収差補正透過電子顕微鏡を用いて極細ナノプローブ形成および検出系レンズと検出器などを調整した。

また、本研究では、上記のその場観察に加えて、それによって得られる欠陥の相互作用を説明する計算機シミュレーション等を組み合わせて、新たな転位運動に対する抵抗メカニズムを明らかにした。

#### 4. 研究成果

図 1(a)-(d)に開発した TEM 内その場応力印加ホルダーデバイスを示す。母材 1.25 mm 厚 2mm 幅の純 Al 板の一部をくさび型に切断してくさび形状を作製したのち TEM ホルダに設置し、ステップモーターによる引張で破断させたものを駆動ステージとした。くさびの形状と引張速度を調整して破断面の厚みを  $50\mu\text{m}$  程度にし、一方の破断面に試料圧縮用の鋸の刃型形状 (図(c))、もう一方に試料ステージ (図(d)) を FIB 加工法で作成した。ステージに設置された試料と鋸の刃型構造は光学顕微鏡で観察でき、鋸の刃と試料が接触できるように両者のフォーカスが合うようにステージを調整した。また、図(e)の Low-mag TEM 像で示すように試料の端付近が鋸の刃の先端に当たるよう調節した。その後、駆動ステージを動かして試料を鋸の刃で圧縮した。試料の端部に圧子が接触し押し込まれることで、圧子直下では圧縮応力が印加される一方で、試料中央部に引張応力が印加され、破断する様子がみられる (図(f))。図(e)各図の右上は撮影時間を表しており、ステージの移動速度は  $10\mu\text{m/s}$  程度と見積もられた。接触から約 0.5 秒の短時間で破断が生じるため応力の定量は難しいが、TEM 内で引張り応力を印加する機構が創製できた。

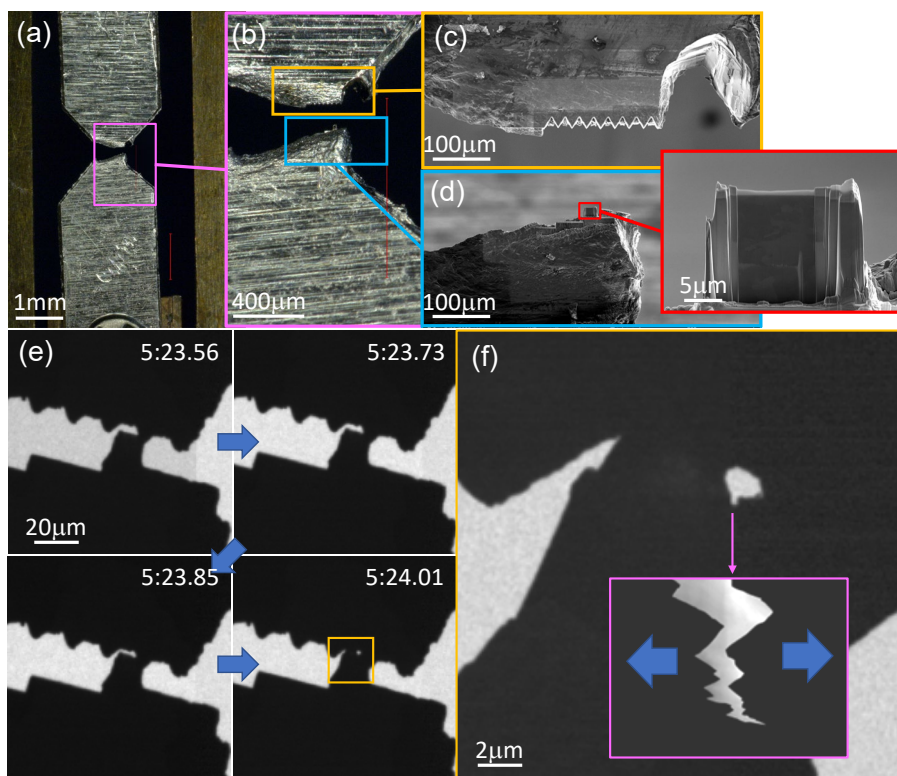


図 1 応力印加治具全体光顕全体像(a)および拡大像(b)ならびに圧子(c)と試料台(d)の SEM-SE 像。試料に応力印加時の動画から切り抜いた Low-mag 像(e)。応力印加の拡大像(f)から試料に圧子が押し込まれ、一部破断が進んでいる様子がみえる。

図 2 に応力下その場観察の例を示す。試料は欧州加圧水炉の監視試験片であり、照射量は 40 年程度の稼働年の圧力容器鋼に相当する。稼働時の温度は  $290^\circ\text{C}$  程度であるが、 $360^\circ\text{C}$  に昇温すると、転位線が移動して微小な照射欠陥 (比較的動きやすいバーガスベクトル  $b = 1/2\langle 111 \rangle$  の微小転位ループ) と相互作用する様子が見られる。さらに  $390^\circ\text{C}$  では微小転位ループ同士が移動し、より複雑な構造を持った欠陥集合体を形成した。その他、その場観察によって様々な相互作用が観察された。

なお、これらの応力下でのその場観察とは別に、同じ温度で応力無しのその場観察を行ったが、図 1 に見られるような変化は全く見られず、より高温の  $450^\circ\text{C}$  程度にならないと欠陥の移動が見られないこともわかった。よって、これらの相互作用は応力によって誘起されたものといえる。

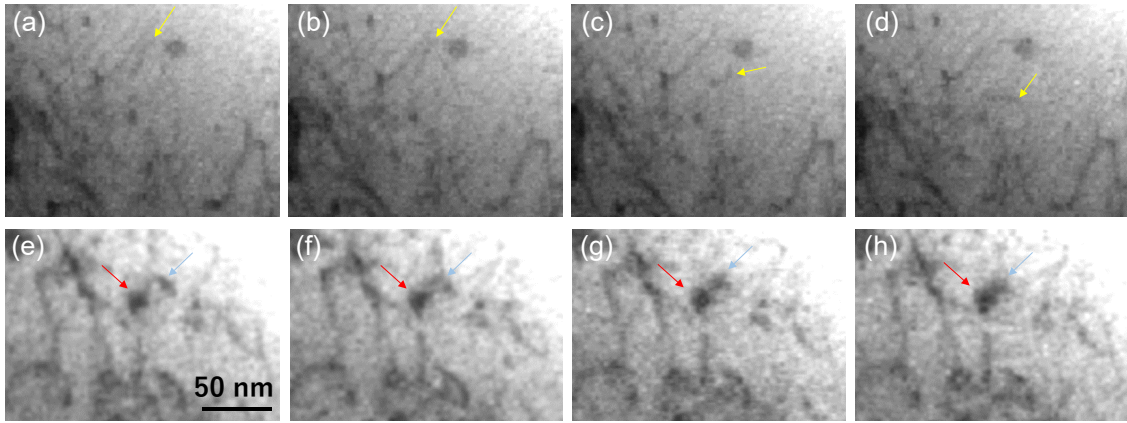


図2 その場観察動画から切り抜いたBF-STEM像。360°Cにおける転位の移動の様子(a)-(d)。(a)を0sとし、1.3s (b)、1.5s (c)、2.7s (d)後。図中黄矢印は同一の転位を示す。390°Cにおける照射欠陥集合体の成長の様子(e)-(h)。(e)を0sとし、3.7s (f)、4.3s (g)、5.3s (h)後。図中青・赤矢印は同一の照射欠陥集合体を示す。

また本研究課題では、上記のその場観察だけでなく、分子動力学シミュレーションによるその場観察の再現と硬化量の定量評価、さらに3次元アトムプローブ法による微小障害物への不純物偏析等の付加的な影響なども明らかにした。

以上まとめると、我々が最近独自開発してきたWB-STEM法という新しい電子顕微鏡法の特徴を最大限活かし、従来法では解決困難だった応力下の変形に伴う諸問題を解決して、サブ nm スケールの分解能を持つ新しい応力下その場観察法を実現した。この手法を用いて、原子炉材料の照射劣化で特徴的な、極めて微小な照射欠陥と転位との相互作用の動的可視化を可能にし、微小な照射欠陥が転位に絡み合い、転位が複雑に構造変化することによって移動が抑制されるといった、従来の古典的なモデルを超えた新たな照射硬化機構を提唱するに至った(図3参照)。これにより、照射による原子構造の乱れという微視的な変化を、原子炉材料の劣化(脆化、硬化等)を定量的に説明する新たな道筋ができた。

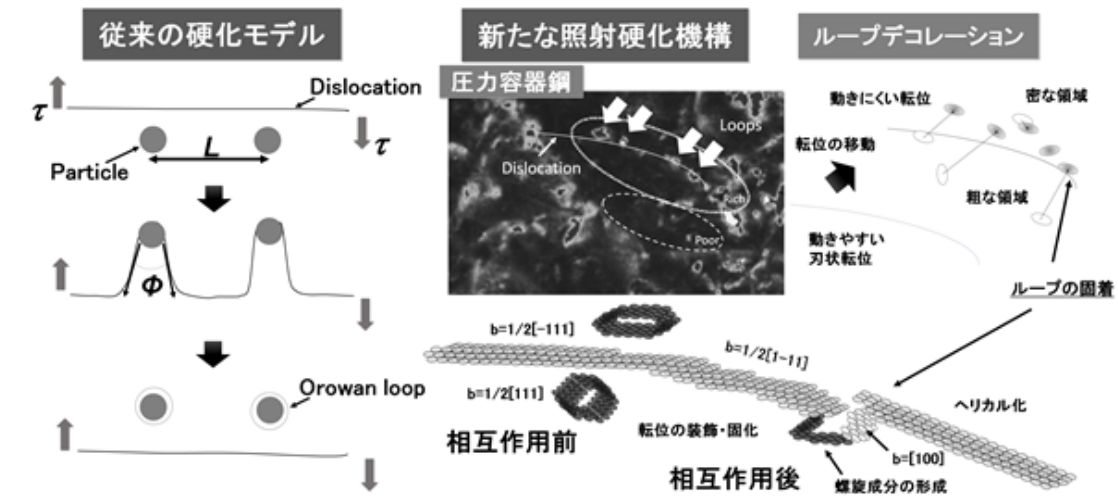


図3 照射欠陥と転位との相互作用による硬化モデルと古典的硬化モデルの比較。

これら成果は、原子炉の長期的安全性を劣化メカニズムに基づいて議論できるようになるという点において大きな社会的意義を持つとともに、新しい応力下その場観察法は原子炉材料以外にも様々な材料の劣化機構の研究に適用することができるという点で学術的な意義も大変大きい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 36件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yoshida Kenta, Toyama Takeshi, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi, Shimodaira Masaki	4. 巻 62
2. 論文標題 Defect Analysis of Matrix Damage in Reactor Pressure Vessel Steel Using WB-STEM	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 154 ~ 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.62.154	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 Nobuta Y., Toyama T., Matsumoto A., Shimada M., Oya Y., Inoue K., Nagai Y., Hatano Y.	4. 巻 566
2. 論文標題 Effect of rhenium addition on deuterium retention in neutron-irradiated tungsten	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153774 ~ 153774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2022.153774	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 Shimada Y., Ikeda Y., Yoshida K., Sato M., Chen J., Du Y., Inoue K., Maas R., Nagai Y., Konno T. J.	4. 巻 131
2. 論文標題 In situ thermal annealing transmission electron microscopy of irradiation induced Fe nanoparticle precipitation in Fe-Si alloy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 164902 ~ 164902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0070471	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 Ebihara Ken-ichi, Suzudo Tomoaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Molecular Dynamics Study of Phosphorus Migration in 3(111) and 5(0-13) Grain Boundaries of -Iron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 662 ~ 662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met12040662	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 Suzudo Tomoaki, Ebihara Ken-ichi, Tsuru Tomohito, Mori Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Cleavages along {110} in bcc iron emit dislocations from the curved crack fronts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-24357-5	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 Yabuuchi Kiyohiro, Suzudo Tomoaki	4. 巻 574
2. 論文標題 Interaction between an edge dislocation and faceted voids in body-centered cubic Fe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 154161 ~ 154161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2022.154161	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 Chen Jiao, Yoshida Kenta, Suzudo Tomoaki, Shimada Yusuke, Inoue Koji, Konno Toyohiko J., Nagai Yasuyoshi	4. 巻 63
2. 論文標題 In-situ TEM Observation and MD Simulation of Frank Partial Dislocation Climbing in Al-Cu Alloy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 468 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021233	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 Toyama T., Zhao C., Yoshiie T., Yamasaki S., Uno S., Shimodaira M., Miyata H., Suzudo T., Shimizu Y., Yoshida K., Inoue K., Nagai Y.	4. 巻 556
2. 論文標題 Radiation-enhanced diffusion of copper in iron studied by three-dimensional atom probe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153176 ~ 153176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.153176	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 Inoue Koji, Yoshida Kenta, Nagai Yasuyoshi, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Correlative atom probe tomography and scanning transmission electron microscopy reveal growth sequence of LPSO phase in Mg alloy containing Al and Gd	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-82705-3	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 Yoshiie T., Inoue K., Yoshida K., Toyama T., Satoh Y., Nagai Y.	4. 巻 101
2. 論文標題 Iron nitride, $\gamma$ -Fe <sub>16</sub> N <sub>2</sub> , around <100> interstitial type dislocation loops in neutron-irradiated iron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 1202 ~ 1213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2021.1891317	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 Hata Kuniki, Takamizawa Hisashi, Hojo Tomohiro, Ebihara Kenichi, Nishiyama Yutaka, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 543
2. 論文標題 Grain-boundary phosphorus segregation in highly neutron-irradiated reactor pressure vessel steels and its effect on irradiation embrittlement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152564 ~ 152564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152564	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 Yi Xiaou, Du Yufeng, Li Yihang, Han Wentuo, Liu Pingping, Yoshida Kenta, Toyama Takeshi, Chen Jiming, Zhan Qian, Wan Farong, Ohnuki Somei, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 169
2. 論文標題 Neutron irradiation response of explosion-welded CuCrZr/316LN joints for ITER application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112620 ~ 112620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112620	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 Yi Xiaou, Du Yufeng, Geng Diancheng, Li Zihao, Han Wentuo, Liu Pingping, Chen Jiming, Yabuuchi Kiyohiro, Yoshida Kenta, Ohnuki Somei, Zhan Qian, Wan Farong, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 178
2. 論文標題 Heavy-ion irradiation and post-irradiation annealing effects in explosion-welded CuCrZr/316LN joints for ITER application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 111252 ~ 111252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2021.111252	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 Zhao Can, Suzudo Tomoaki, Toyama Takeshi, Nishitani Shigeto, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Investigation of Cu Diffusivity in Fe by a Combination of Atom Probe Experiments and Kinetic Monte Carlo Simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 929 ~ 934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021028	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 Takamizawa Hisashi, Hata Kuniki, Nishiyama Yutaka, Toyama Takeshi, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 556
2. 論文標題 The role of silicon on solute clustering and embrittlement in highly neutron-irradiated pressurized water reactor surveillance test specimens	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153203 ~ 153203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.153203	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 Shimada Yusuke, Mizumoto Masataka, Hishinuma Yoshimitsu, Ikeda Ken-ichi, Yoshida Kenta, Noto Hiroyuki, Ma Bing, Muroga Takeo, Nagai Yasuyoshi, Konno Toyohiko J.	4. 巻 173
2. 論文標題 Microstructural changes of oxide dispersion strengthened copper powders fabricated by mechanical alloying	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112804 ~ 112804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112804	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 Liang Jianbo, Nakamura Yuji, Ohno Yutaka, Shimizu Yasuo, Nagai Yasuyoshi, Wang Hongxing, Shigekawa Naoteru	4. 巻 1
2. 論文標題 Room temperature direct bonding of diamond and InGaP in atmospheric air	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Functional Diamond	6. 最初と最後の頁 110 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/26941112.2020.1869435	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 Liang Jianbo, Nakamura Yuji, Zhan Tianzhuo, Ohno Yutaka, Shimizu Yasuo, Katayama Kazu, Watanabe Takano, Yoshida Hideto, Nagai Yasuyoshi, Wang Hongxing, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru	4. 巻 111
2. 論文標題 Fabrication of high-quality GaAs/diamond heterointerface for thermal management applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 108207 ~ 108207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.108207	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 Ohno Yutaka, Ren Jie, Tanaka Shingo, Kohyama Masanori, Inoue Koji, Shimizu Yasuo, Nagai Yasuyoshi, Yoshida Hideto	4. 巻 14
2. 論文標題 Insight into segregation sites for oxygen impurities at grain boundaries in silicon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 041003 ~ 041003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abe80d	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 Ohno Yutaka, Yokoi Tatsuya, Shimizu Yasuo, Ren Jie, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi, Kutsukake Kentaro, Fujiwara Kozo, Nakamura Atsutomo, Matsunaga Katsuyuki, Yoshida Hideto	4. 巻 1
2. 論文標題 Segregation mechanism of arsenic dopants at grain boundaries in silicon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials: Methods	6. 最初と最後の頁 169 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/27660400.2021.1969701	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 Ohno Yutaka, Liang Jianbo, Yoshida Hideto, Shimizu Yasuo, Nagai Yasuyoshi, Shigekawa Naoteru	4. 巻 61
2. 論文標題 Variation in atomistic structure due to annealing at diamond/silicon heterointerfaces fabricated by surface activated bonding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SF1006 ~ SF1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac5d11	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 Kagawa Ryo, Kawamura Keisuke, Sakaida Yoshiki, Ouchi Sumito, Uratani Hiroki, Shimizu Yasuo, Ohno Yutaka, Nagai Yasuyoshi, Liang Jianbo, Shigekawa Naoteru	4. 巻 15
2. 論文標題 AlGaIn/GaN/3C-SiC on diamond HEMTs with thick nitride layers prepared by bonding-first process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 041003 ~ 041003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac5ba7	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 Liang Jianbo, Takatsuki Daiki, Higashiwaki Masataka, Shimizu Yasuo, Ohno Yutaka, Nagai Yasuyoshi, Shigekawa Naoteru	4. 巻 61
2. 論文標題 Fabrication of $\alpha$ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Si heterointerface and characterization of interfacial structures for high power device applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SF1001 ~ SF1001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4c6c	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 Du Yufeng, Yoshida Kenta, Shimada Yusuke, Toyama Takeshi, Inoue Koji, Arakawa Kazuto, Suzudo Tomoaki, Milan Konstantinovic J., Gerard Robert, Ohnuki Somei, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 In-situ WB-STEM observation of dislocation loop behavior in reactor pressure vessel steel during post-irradiation annealing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100778 ~ 100778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtl.2020.100778	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 Toyama T., Yamamoto T., Ebisawa N., Inoue K., Nagai Y., Odette G.R.	4. 巻 532
2. 論文標題 Effects of neutron flux on irradiation-induced hardening and defects in RPV steels studied by positron annihilation spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152041 ~ 152041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152041	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 Suzudo Tomoaki, Takamizawa Hisashi, Nishiyama Yutaka, Caro Alfredo, Toyama Takeshi, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 540
2. 論文標題 Atomistic modeling of hardening in spinodally-decomposed Fe-Cr binary alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152306 ~ 152306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152306	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 Tsuchiya Eiji, Matsumura Yuta, Hosoya Yoshihiro, Miyamoto Yuka, Kobayashi Takashi, Seto Kazuhiro, Tomura Keiko, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Development of Niobium Bearing High Carbon Steel Sheet for Knitting Needles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1052 ~ 1062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-084	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 Ono Yoshihiko, Funakawa Yoshimasa, Okuda Kaneharu, Seto Kazuhiro, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 106
2. 論文標題 Static Strain Aging Mechanisms of Polycrystalline Ferritic Steel Sheets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 391 ~ 401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-108	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 Suzudo T., Ebihara K., Tsuru T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Brittle-fracture simulations of curved cleavage cracks in $\alpha$ -iron: A molecular dynamics study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 115209 ~ 115209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0026659	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 Ebihara Ken-ichi, Sugiyama Yuri, Matsumoto Ryosuke, Takai Kenichi, Suzudo Tomoaki	4. 巻 52
2. 論文標題 Numerical Interpretation of Hydrogen Thermal Desorption Spectra for Iron with Hydrogen-Enhanced Strain-Induced Vacancies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Metallurgical and Materials Transactions A	6. 最初と最後の頁 257 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11661-020-06075-7	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 Onodera Y., Elphick K., Kanemura T., Roy T., Tsuchiya T., Tsujikawa M., Yoshida K., Nagai Y., Mizukami S., Hirohata A., Shirai M.	4. 巻 59
2. 論文標題 Experimental inspection of a computationally-designed NiCrMnSi Heusler alloy with high Curie temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 073003 ~ 073003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab9c75	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 Liang Jianbo, Ohno Yutaka, Yamashita Yuichiro, Shimizu Yasuo, Kanda Shinji, Kamiuchi Naoto, Kim Seongwoo, Koji Koyama, Nagai Yasuyoshi, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru	4. 巻 3
2. 論文標題 Characterization of Nanoscopic Cu/Diamond Interfaces Prepared by Surface-Activated Bonding: Implications for Thermal Management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 2455 ~ 2462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b02558	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 Shimizu Yasuo, Han Bin, Ebisawa Naoki, Ichihashi Yoshinari, Hashiguchi Taiki, Katayama Hirota, Matsumoto Mitsuhiro, Terakawa Akira, Inoue Koji, Nagai Yasuyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 3D impurity profiles of doped/intrinsic amorphous-silicon layers composing textured silicon heterojunction solar cells detected by atom probe tomography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 126503 ~ 126503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abcd70	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 Tu Y., Zhu P. L., Li G., Ouyang Q. L., Chang H., Zhou F. R., Shimizu Y., Inoue K., Nagai Y., Sun R., Wong C. P.	4. 巻 116
2. 論文標題 Multiscale characterization of the joint bonded by Cu@Ag core@shell nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 213101 ~ 213101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007534	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 Kiga Ryotaro, Hayashi Sayaka, Miyamoto Satoru, Shimizu Yasuo, Nagai Yasuyoshi, Endoh Tetsuo, Itoh Kohei M.	4. 巻 127
2. 論文標題 Oxidation-enhanced Si self-diffusion in isotopically modulated silicon nanopillars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 045704 ~ 045704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5134105	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 Wakai Eiichi, Okubo Nariaki, Takaya Shigeru, Nagae Yuji, Suzudo Tomoaki, Abe Hiroaki, Yamaguchi Masataka, Aoto Kazumi	4. 巻 28
2. 論文標題 Effects of Helium Production and Displacement Damage on Microstructural Evolution in Helium-Implanted Austenitic Stainless Steel and Martensitic Steel Examined by HIT Experiment and KMC Simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 061008 ~ 061008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.28.061008	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72件(うち招待講演 5件/うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Yusuke Shimada, Sinnosuke Tokuta, Yuta Hasegawa, Zimeng Guo, Hongye Gao, Satoshi Hata, Akiyasu Yamamoto
2. 発表標題 Multiscale grain structure of Ba-122 superconducting polycrystalline bulks
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Toyama, K. Inoue, M. Shimodaira, K. Yoshida, Y. Nagai, M. J. Konstantinovic, R. Gerard, M. De Smet
2. 発表標題 Ultra-fine defects in RPV surveillance test specimens studied by temperature dependency of positron annihilation
3. 学会等名 IGRDM-21 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Toyama, K. Inoue, Y. Hatano, A. Yabuuchi, A. Kinomura, Y. Oya, T. Suzudo, Y. Nagai
2. 発表標題 Doping Effect of Re, Mo, Ta on irradiation-induced defects in W
3. 学会等名 19th International Conference on Positron Annihilation 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 隼輝、余 浩、井上 耕治、高 子墨、近藤 創介、笠田 竜太、永井 康介、大場 洋次郎、廣井 孝介
2. 発表標題 ODS-Cu中の微細酸化物分散粒子に及ぼすZr添加の影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季第172回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大野裕, 山腰健太, 沓掛健太郎, 小島拓人, 工藤博章, 田中博之, 永井康介, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 TEMと多結晶材料情報学に基づくシリコン中の転位発生源の解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田 穂高, 嶋田 雄介, 吉田 健太, 外山 健, 井上 耕治, 永井 康介
2. 発表標題 多階層位置ズレ補正法による3D FIB SEMの再構成精度向上
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田 穂高, 吉田 健太, 嶋田 雄介, 杜 玉峰, 外山 健, 井上 耕治, 永井 康介
2. 発表標題 多階層位置ズレ補正法その場観察を駆使した原子炉压力容器鋼における照射欠陥集合体の熱緩和初期過程の定量的解析
3. 学会等名 日本金属学会 2022年秋期第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田穂高、吉田健太、嶋田雄介、杜玉峰、外山健、井上耕治、永井康介
2. 発表標題 多段階位置ズレ補正法その場観察を用いた原子炉压力容器鋼中の照射欠陥集合体の熱緩和初期過程の定量的解析
3. 学会等名 材料照射研究会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Yusuke Shimada, Kenta Yoshida, Koji Inoue, Toyohiko J. Konno, Yasuyoshi Nagai
2. 発表標題 電子顕微鏡その場加熱観察による金属材料の熱的組織変化解析
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田雄介
2. 発表標題 各種電子顕微鏡法を用いた多結晶超伝導材料の微細組織解析
3. 学会等名 2022年度第3回低温工学材料研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田 雄介, 池田裕樹, 吉田 健太, 井上 耕治, Robert Maas, 今野 豊彦, 永井 康介
2. 発表標題 原子分解能その場加熱観察によるFeSi規則合金への電子線照射影響の解明
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田雄介、中嶋優汰、菱沼良光、池田賢一、能登裕之、室賀健夫、吉田健太、今野豊彦、永井康
2. 発表標題 新規酸素添加手法により作製したMA-HIP法ODS-Cu合金の微細組織
3. 学会等名 日本金属学会第171回秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 外山 健, J. Hughes, M. Gorley, 井上 耕治, 永井 康介, E. Jimenez-Melero
2. 発表標題 Cu-Cr-Zr合金の480 熱時効初期過程における硬度およびCr析出物の変化
3. 学会等名 日本金属学会第172回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 外山 健, 鈴木 克弥, 山崎 正徳, 永井 康介
2. 発表標題 BR2を利用した高温・高精度中性子照射計画
3. 学会等名 日本金属学会第172回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Yoshida, Y. Shimada, J. Chen, Y. Du, K. Inoue, T. Suzudo, K. Arakawa, Y. Nagai
2. 発表標題 Key designs on in-situ weak-beam scanning transmission electron microscopy for dynamic/atomic-scale quantitation of lattice defects in nuclear materials
3. 学会等名 THERMEC 2021 Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nagai, Y. Du, K. Yoshida, T. Toyama, K. Inoue
2. 発表標題 Microstructural analysis of neutron-irradiated materials for the understanding of degradation mechanisms due to the irradiation
3. 学会等名 THERMEC 2021 Virtual Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 C. Zhao
2 . 発表標題 A Study of Electron Irradiation Effects on Cu Diffusion in Fe-Cu Alloy by Atom Probe Tomography
3 . 学会等名 THERMEC 2021 Virtual Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 外山健, 矢嶋美幸, 桑原竜也, V. Kh. Alimov, 鈴木克弥, 永井康介, 大野哲靖, 波多野雄治
2 . 発表標題 Application of positron annihilation spectroscopy and compact divertor plasma simulator for studies of hydrogen retention in neutron-irradiated tungsten
3 . 学会等名 The 20th International Conference on Fusion Reactor Materials ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, H. Yoshida, Y. Shimizu, Y. Nagai and N. Shigekawa
2 . 発表標題 Structural analysis of diamond/silicon heterointerfaces fabricated by surface activated bonding at room temperature
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Kagawa, K. Kawamura, Y. Sakaida, S. Ouchi, H. Uratani, Y. Shimizu, Y. Ohno, Y. Nagai, N. Shigekawa, and J. Liang
2 . 発表標題 Fabrication of GaN/SiC/diamond structure for efficient thermal management of power device
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Liang, D. Takatsuki, Y. Shimizu, M. Higashiwaki, Y. Ohno, Y. Nagai, and N. Shigekawa
2 . 発表標題 Fabrication of Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Si direct bonding interface for high power device applications
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Kobayashi, Y. Shimizu, Y. Ohno, S. W. Kim, K. Koyama, M. Kasu, Y. Nagai, N. Shigekawa, and J. Liang
2 . 発表標題 Fabrication and Characterization of GaN/Diamond bonding interface
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Nagai, K. Kawamura, Y. Sakaida, H. Uratani, Y. Shimizu, Y. Ohno, Y. Nagai, N. Shigekawa, and J. Liang
2 . 発表標題 Fabrication of Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /3C-SiC direct bonding for efficient surface heat dissipation
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Sawai, J. Liang, Y. Shimizu, Y. Ohno, Y. Nagai, and N. Shigekawa
2 . 発表標題 Polarization inverted GaN/GaN junctions fabricated by surface-activated bonding
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Sawai, J. Liang, Y. Shimizu, Y. Ohno, Y. Nagai, N. Shigekawa
2 . 発表標題 Nanostructural analysis of Al/ -Ga2O3 interface fabricated using surface activated bonding
3 . 学会等名 2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Ohno, T. Yokoi, Y. Shimizu, J. Ren, K. Inoue, Y. Nagai, K. Kutsukake, K. Fujiwara, A. Nakamura, K. Matsunaga, H. Yoshida
2 . 発表標題 Precise analysis of segregation sites for As dopants at Si grain boundaries
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Suzudo, T. Toyama, J. Wang, Y. Hatano
2 . 発表標題 Solute elements suppress the radiation damage in Tungsten alloys: Comparison between first-principles-based modeling and experimental evidence
3 . 学会等名 ICFRM-20 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Ohno, Y. Shimizu, K. Inoue, Y. Nagai, T. Yokoi, A. Nakamura, K. Matsunaga, H. Yoshida
2 . 発表標題 Grain boundary segregation of arsenic dopants in silicon crystal revealed by atom probe tomography combined with low-temperature focused ion beam
3 . 学会等名 Summit of Materials Science 2022 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 健太、嶋田 雄介、清水 康雄、杜 玉峰、外山 健、井上 耕治、永井 康介
2. 発表標題 3DAPとWB-STEMを組み合わせた中性子照射 鋼材中の硬化因子の定量解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陳 嬌、鈴木 知明、嶋田 雄介、吉田 健太、井上 耕治、今野 豊彦、永井 康介
2. 発表標題 Al-Cu合金の積層欠陥挙動の原子分解能その場観察と硬化メカニズムへの影響
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yufeng Du, Kenta Yoshida, Shimada Yusuke, Inoue Koji, Ohnuki Somei, Nagai Yosuyoshi
2. 発表標題 " Characterization of the Microstructure of Neutron-Irradiated 12CrODS Steel by APT and TEM
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田 雄介、陳 嬌、原田 寛大、池田 裕樹、杜 玉峰、吉田 健太、井上 耕治、渡邊 英雄、今野 豊彦、永井 康介
2. 発表標題 電子線照射欠陥の成長メカニズム解明に向けた 新規その場加熱観察法の開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 健太、嶋田 雄介、杜 玉峰、宮田 穂高、北垣 徹、池田 篤史、渡邊 英雄、小無 健司、永井 康介
2. 発表標題 燃料デブリ分析のための超微量分析技術の開発 (8)模擬燃料デブリの TEMを用いたナノ構造解析
3. 学会等名 2021年原子力学会秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田 穂高、杜 玉峰、嶋田 雄介、吉田 健太、外山 健、井上 耕治、永井 康介
2. 発表標題 その場WB-STEM法によるRPV鋼中の残留応力と熱緩和過程の動的計測
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田雄介, 陳嬌, 池田裕樹, 吉田健太, 井上耕治, Robert Maas, 今野豊彦, 永井康介
2. 発表標題 FeSi規則合金のFe原子拡散における電子線照射量の及ぼす影響
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 風間裕行、関尾佳弘、前田宏治、小無健司、阿部千景、永井康介、鈴木達也
2. 発表標題 燃料デブリ分析のための超微量分析技術の開発 (5) ICP-MS/MS測定によるアクチノイド元素分析手法の検討
3. 学会等名 2021年原子力学会秋の大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 三浦 祐典、大内 敦、樋口 徹、小無 健司、永井 康介
2. 発表標題 燃料デブリ分析のための超微量分析技術の開発 (6)模擬燃料デブリの作製
3. 学会等名 2021年原子力学会秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野裕, 清水康雄, JieRen, 横井達也, 井上耕治, 永井康介, 吉田秀人, 沓掛健太郎, 藤原航三, 中村篤智, 松永克志
2. 発表標題 シリコン粒界におけるヒ素ドーパントの偏析機構
3. 学会等名 2021年度大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 外山健、井上耕治、永井康介、木野村淳、鈴木知明、大矢恭久、波多野雄治；
2. 発表標題 電子線/中性子照射タングステン中の照射欠陥形成に対する添加元素効果
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤隼輝、余浩、井上耕治、高子墨、近藤創介、笠田竜太、永井康介
2. 発表標題 Cu-Y203系ODS合金における分散粒子の形成挙動に及ぼすZr添加の影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田雄介、中嶋優汰、菱沼良光、池田賢一、能登裕之、室賀健夫、吉田健太、今野豊彦、永井康介
2. 発表標題 MA-HIP法により作製したCu-Y化合物添加ODS-Cu合金の微細組織解析
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梁剣波、清水康雄、大野裕、永井康介、重川直輝
2. 発表標題 GaN/ダイヤモンド接合界面の特性評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木知明、海老原健一、都留智仁、森英喜
2. 発表標題 機械学習ポテンシャルを用いたBCC鉄における破壊の分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Miyata, T. Toyama, M. shimodaira, C. Zhao, R. Shibahara, K. Kurano, Y. Nozawa, Y. Shimizu, K. Inoue, Y. Nagai
2. 発表標題 Direct observation of Cu diffusivity in Pure Iron Grain Boundary by Atom Probe Tomography
3. 学会等名 GIMRT REMAS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 C. Zhao, T. Suzudo, T. Toyama, K. Inoue, Y. Nagai
2 . 発表標題 Investigation of Cu diffusivity in Fe by the combination of atom probe experiments and Monte Carlo simulation
3 . 学会等名 GIMRT REMAS 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Inoue
2 . 発表標題 A challenge to observe segregation of solute atoms on stacking faults in high-entropy alloy by atom probe tomography
3 . 学会等名 GIMRT-REMAS2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Elphick, Y. Onodera, T. Tsuchiya, T. Ichinose, S. Mizukami, K. Yoshida, Y. Nagai and A. Hirohata
2 . 発表標題 Cross-Sectional TEM Imaging of NiCrMnSi and CoFe:N Alloys for Magnetic Tunnel Junctions
3 . 学会等名 JEMS2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, N. Shigekawa, H. Yoshida, S. Takeda, R. Miyagawa, Y. Shimizu, and Y. Nagai
2 . 発表標題 Mechanism of direct bonding via surface activation to fabricate Si/GaAs heterointerfaces towards tandem solar cells
3 . 学会等名 2020 European Materials Research Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Nakamura, Y. Shimizu, Y. Ohno, S. W. Kim, K. Koyama, H. X. Wang, N. Shigekawa, and J. Liang
2 . 発表標題 Characterization of the diamond/GaAs direct bonding interfaces fabricated by surface activated bonding
3 . 学会等名 14th International Conference on New Diamond and Nano Carbons ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 J. Liang, A. Kobayashi, Y. Shimizu, Y. Ohno, S. W. Kim, K. Koyama, M. Kasu, and N. Shigekawa
2 . 発表標題 Characterization of GaN/diamond interface prepared by surface activated bonding for thermal management
3 . 学会等名 Compound Semiconductor Week ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, N. Shigekawa, H. Yoshida, R. Miyagawa, Y. Shimizu, and Y. Nagai
2 . 発表標題 Mechanism of surface activated bonding for low-resistance Si/diamond and Si/GaAs heterointerfaces
3 . 学会等名 The 15th International Conference Beam Injection Assessment of Microstructures in Semiconductors ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, N. Shigekawa, H. Yoshida, R. Miyagawa, Y. Shimizu, and Y. Nagai
2 . 発表標題 Mechanism of low-temperature direct bonding via surface activation for Si/diamond and Si/GaAs heterointerfaces
3 . 学会等名 International Conference on the Physics of Semiconductors 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, N. Shigekawa, H. Yoshida, R. Miyagawa, Y. Shimizu, and Y. Nagai
2 . 発表標題 How to fabricate low-resistance heterointerfaces for tandem cells by direct bonding at low temperatures
3 . 学会等名 37th EU PVSEC ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, N. Shigekawa, H. Yoshida, R. Miyagawa, Y. Shimizu, and Y. Nagai
2 . 発表標題 Microscopic picture of direct bonding via surface activation for low-resistance Si/wide-gap semiconductor heterointerfaces
3 . 学会等名 PRiME2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 J. Liang, Y. Nakamura, Y. Ohno, Y. Shimizu, T.Z. Zhan, T. Watanabe, N. Kamiuchi, Y. Nagai, and N. Shigekawa
2 . 発表標題 Direct bonding of GaAs and diamond for high power device applications
3 . 学会等名 PRiME2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Tane, N.L. Okamoto, K. Inoue, M. Luckabauer, Y. Nagai, T. Sekino, T. Nakano, T. Ichitsubo
2 . 発表標題 Kinetics of diffusionless isothermal and athermal omega transformations in Ti alloys
3 . 学会等名 19thInternational Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ohno, J. Liang, Y. Shimizu, H. Yoshida, N. Shigekawa
2. 発表標題 Formation process of high thermal-stability diamond/Si and diamond/GaAs heterointerfaces by surface activated bonding
3. 学会等名 2020 Joint MRS Spring and Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田 雄介, 吉田 健太, 杜 玉峰, 陳 嬌, 原田 寛大, 井上 耕治, 今野 豊彦, 永井 康介
2. 発表標題 過酷環境下における原子分解能その場加熱観察手法の開発
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yufeng Du, Kenta Yoshida, Yusuke Shimada, Takeshi Toyama, Koji Inoue, Kazuto Arakawa, Tomoaki Suzudo, Milan Konstantinovic J., Gerard Robert, Somei Ohnuki, Yasuyoshi Nagai
2. 発表標題 Thermal stability of dislocation loops in Neutron-irradiated reactor pressure vessel steel during in-situ annealing
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田健太、杜玉峰、嶋田雄介、鈴木知明、荒河一渡、外山健、井上耕治、大貫聡明、永井康介
2. 発表標題 その場WB-STEM計測による中性子照射誘起転位ループの熱的安定性の評価
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陳熿、嶋田雄介、吉田健太、井上耕治、今野豊彦、永井康介
2. 発表標題 その場収差補正透過電子顕微鏡法を用いたアルミニウム薄膜中の空孔クラスタ安定性評価
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陳熿、鈴木知明、嶋田雄介、吉田健太、井上耕治、今野豊彦、永井康介
2. 発表標題 その場観察を用いたAl-Cu合金系中のGPゾーンによる終端装飾と積層欠陥の安定性評価
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 趙燦、鈴木知明、外山健、井上耕治、永井康介
2. 発表標題 Estimation of Cu diffusivity in Fe by combination of atom probe experiments and Monte Carlo simulation
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上耕治、趙燦、柴原理恵、蔵野功、杜玉峰、吉田健太、外山健、永井康介、Milan J. Konstantinovic、Robert Gerard
2. 発表標題 欧州加圧水型原子炉圧力容器鋼におけるNi-Mn-Siクラスターの形成発展過程
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 宮田 穂高、外山 健、下平 昌樹、趙 燦、柴原 理恵、藏野 功、野沢 康子、清水 康雄、井上 耕治、永井 康介
2. 発表標題 3次元アトムプローブによる純鉄粒界中のCu拡散係数の直接導出
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 外山健、Zhao Can、井上耕治、永井康介、波多野雄治、藪内敦、木野村淳
2. 発表標題 電子線照射されたW-X合金 (X=Mo, Ta, Re) 中の照射欠陥
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 外山健、Zhao Can、井上耕治、永井康介、波多野雄治、藪内敦、木野村淳
2. 発表標題 電子線照射されたW合金中の照射欠陥
3. 学会等名 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 2020年

1. 発表者名 永井 康介
2. 発表標題 学術研究における照射炉の重要性 東北大金研大洗の共同利用研究から
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田 雄介、陳 嬌、池田 裕樹、吉田 健太、井上 耕治、今野 豊彦、永井 康介
2. 発表標題 FeSi-D03格子への電子線照射で誘起される点欠陥による拡散促進のその場TEM観察
3. 学会等名 日本物理学会第76回年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田雄介、水本政隆、菱沼良光、池田賢一、吉田健太、能登裕之、Ma Bing、室賀健夫、永井康介、今野豊彦
2. 発表標題 メカニカルアロイングODS-Cu粉末の熱的組織変化
3. 学会等名 日本金属学会第168回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 外山健、Zhao Can、井上 耕治、永井 康介、波多野 雄治、藪内 敦、木野村 淳、鈴木 知明
2. 発表標題 陽電子消滅法で調べた電子線照射W合金中の空孔型欠陥形成に対するRe添加効果
3. 学会等名 日本金属学会第168回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yufeng Du, Kenta Yoshida, Yusuke Shimada, Takeshi Toyama, Koji Inoue, Somei Ohnuki, Yasuyoshi Nagai
2. 発表標題 APT Characterization on the Microstructure of Neutron-Irradiated 12Cr ODS Stee
3. 学会等名 日本金属学会第168回講演大会
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	吉田 健太 (Yosihda Kenta) (10581118)	東北大学・金属材料研究所・准教授  (11301)	
研究分担者	嶋田 雄介 (Shimada Yusuke) (20756572)	東北大学・金属材料研究所・助教  (11301)	
研究分担者	井上 耕治 (Inoue Koji) (50344718)	東北大学・金属材料研究所・准教授  (11301)	
研究分担者	外山 健 (Toyama Takeshi) (50510129)	東北大学・金属材料研究所・准教授  (11301)	
研究分担者	鈴土 知明 (Suzudo Tomoaki) (60414538)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター・再雇用職員  (82110)	
研究分担者	清水 康雄 (Shimizu Yasuo) (40581963)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・NIMS特別研究員  (82108)	

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
---------	---------