

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18807

研究課題名（和文）力学的ナノ欠陥制御工学の創成

研究課題名（英文）faituge

研究代表者

澄川 貴志（Sumigawa, Takashi）

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80403989

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、マイクロサイズの金属材料に対して力学負荷（引張・圧縮繰り返し負荷）を与えることで生じる転位構造を特定し、その形状を制御することを目的とした。単一すべり方位を有する試験片を用いて、マクロ材とは異なる転位の自己組織化現象によって、線欠陥（刃状転位）が集合したナノサイズの壁を形成できることを明らかにした。さらに結晶方位や応力振幅を制御することで、転位壁の形状や間隔を変化させることに成功した。試験片に異材界面を付与して変形拘束を行うことにより、試験片の形状変化を伴うことなく転位壁を形成できた。マイクロ材料においては繰り返し変形により制御した転位構造を実現できる可能性があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、微小材料における転位の自己組織化現象を利用して制御された転位構造を創り出すという、材料力学的観点に基づく新しい材料機能創成の分野を開拓する点に学術的意義がある。本研究成果では、表面の効果によってマクロ材とは異なるメカニズムで転位構造を形成できることを明らかにした。さらに、結晶方位及び応力振幅に加えて、異材界面の導入によっても異なる転位構造が得られることを示した。本成果は、新たなナノ材料創成やナノデバイス技術革新に繋がるものであり、産業界へのインパクトも大きく、工業的な意義も高い。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this project is to specify the dislocation structure generated by mechanical loading (tension-compression cyclic loading) to a micro-sized metal and to control its shape. Using a specimen with a single slip orientation, walls with a nano-scale width composed of line defects (edge dislocations) were formed due to the self-organization of which mechanism is different from that of bulk counterparts. Furthermore, we succeeded in changing the shape and spacing of dislocation walls by controlling the crystal orientation and the applied stress amplitude. Straight dislocation walls were formed in the specimen with a dissimilar interface. It was found that the dislocation wall network in the micro material can be controlled by applying a cyclic load.

研究分野：微小材料強度学

キーワード：転位 欠陥制御 繰り返し変形 ナノ 自己組織化

### 1. 研究開始当初の背景

強誘電体は、圧電素子、強誘電体メモリ (FeRAM) 及びアクチュエーター等、広い分野の産業製品に用いられている。特に FeRAM に関しては、動作速度や消費電力に優れることから次世代メモリとして期待されている。しかし、セル面積が大きく、高集積化できないという欠点が存在する。一方で近年、転位が有するナノレベルのひずみ集中場によって、ナノ～原子スケールの強誘電性が発現する (マルチフィジックス) ことが報告された。この現象を利用することで原子～ナノレベルの強誘電性高集積化デバイスや新機能材料を実現できる可能性があるが、現状では材料中の転位を任意の場所で構造化する技術自体が存在せず、ボトルネックになっている。

一方、金属材料に繰り返し変形を与えると、疲労を生じる。このとき、材料内部には疲労転位構造が形成される。例えば銅 (Cu) においては、低塑性ひずみ振幅領域では、正負の刃状転位による双極子が集まったベイン組織および転位密度の低いチャンネル組織が形成される。中塑性ひずみ振幅領域では、局所に転位のはしご型構造が形成され、そこでは塑性ひずみが集中する“固執すべり帯 (Persistent slip band: PSB)” が現れる。はしご型構造は、転位双極子が集まった壁組織およびチャンネル組織で構成されている。高塑性ひずみ振幅領域では、複数のすべり系の活動により転位のラビリンス構造やセル構造が形成される。しかし、これらの構造は転位が有する弾性ひずみ場によって形成されることから (転位の自己組織化)、その構造を制御することは難しい。一方、研究代表者はこれまでに、マイクロサイズの材料に繰り返し負荷を与える技術を確立し、それらの材料が疲労することを報告している。ナノ・マイクロ材料では、マクロ材に比べて表面や界面の影響を強く受けるため、それらを利用する事で自己組織化構造を制御できる可能性がある。転位の自己組織化構造の制御技術は、ナノテクノロジーの観点から強誘電体以外にも応用でき、その学術基盤の構築が求められているが、疲労現象を用いて検討を行った例はない。

### 2. 研究の目的

本研究では、原子・ナノレベルの線欠陥である転位の自己組織化構造を制御する力学設計基盤構築のために、条件を変えたマイクロ材料への繰り返し負荷によって形成されるその疲労転位構造及びその影響因子を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

供試材として、銅 (Cu) 多結晶基板を用意した。真空環境下で熱処理を行い、結晶粒の粗大化と残留応力の除去を行った後、電子線後方散乱回折 (EBSD: Electron back-scattering diffraction) 法を用いて供試材表面の粒界形状及び結晶方位を特定し、集束イオンビーム (FIB: Focused ion beam) 加工を用いて所望の結晶粒からマイクロ試験片を切り出した (図 1)。試験片ゲージ部の幅及び高さはそれぞれ  $2\ \mu\text{m}$  および  $10\ \mu\text{m}$  である。超低エネルギーアルゴン (Ar) イオンミリング処理により、FIB 加工で導入された加工層を除去した。試験片は単一すべり方位を有するもの (図 2)、及び、二重すべりを有するもの (図 3) を用意した。両図中の (a)、(b) 及び (c) は、それぞれステレオグラフ、12 のすべり系のシュミット因子及びシュミット因子の高いすべり系の模式図を示す。Cu は面心立方金属であり、4 つのすべり面及びそれぞれのすべり面上の 3 つのすべり方向による計 12 のすべり系を有する。図中では、Schmid と Boas の表記法に従ってすべり面を A~B の記号、及び、すべり方向を 1~6 の数字で表してある。結晶方位からは単一すべり方位を有する試験片では、主すべり系 B4 が活動し、二重すべりを有する試験片では、第一に B4、第二に C1 が活動することが予想される。

引張圧縮負荷試験には、電界放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM: Field emission-scanning electron microscope) 内に設置可能な独自開発の負荷試験装置を用いた。本装置では、三軸方向の並進移動と回転移動を可能にする機構が組み込まれており、試験片を把持するためのグリッパーを有する。

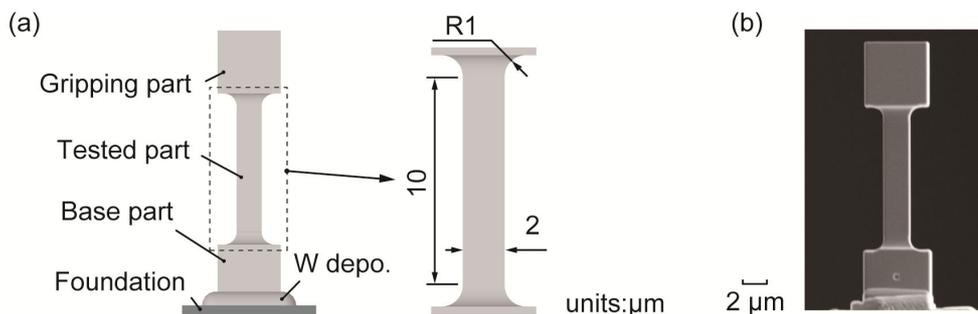


図 1 (a)銅単結晶マイクロ試験片の寸法, (b)試験片の SEM 観察像.

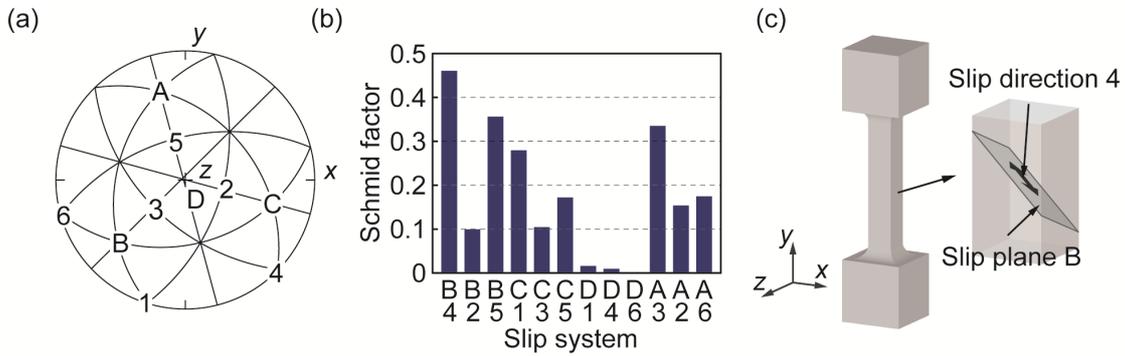


図 2 単一すべり方位を有する試験片の結晶学的情報：(a)ステレオグラフ，(b)シュミット因子，(c)主すべり系 B4 の模式図．

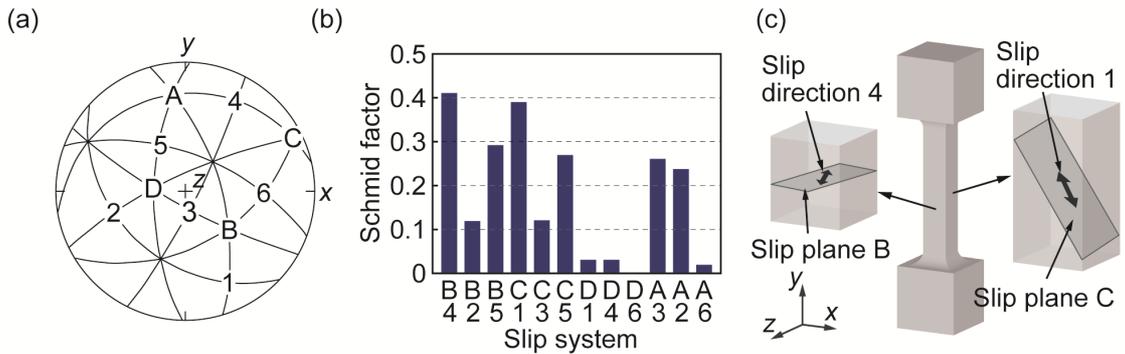


図 3 二重すべり方位を有する試験片の結晶学的情報：(a)ステレオグラフ，(b)シュミット因子，(c)主すべり系 B4 及び共役すべり系 C1 の模式図．

#### 4. 研究成果

引張圧縮繰り返し負荷試験において、単一すべり方位を有する試験片（応力振幅： $r_{ss}/2 = 30 \text{ MPa}$ ）ではすべり系 B4 が活動することで、表面に顕著な突き出し/入り込みが形成された．図 4(a)は、試験後の試験片に対する透過型電子顕微鏡(TEM: Transmission electron microscope)像を示す．試験片周囲の暗部は、FIB を用いた薄片化の際、試験片の表面損傷や湾曲を防止するために施したタングステン(W)蒸着である．突き出し/入り込み形成部には、マクロ材に見られるはしご型構造は存在せず、周囲の状況と大きな差は無い．幅約 50 nm の転位壁が存在し、その間の低転位密度領域にもある程度の転位が見受けられる． $G \cdot b$  解析により、この転位壁は、刃状転位の集合により構成されていることが明らかとなった．二重すべり方位を有する試験片（応力振幅： $r_{ss}/2 = 6 \text{ MPa}$ ）では、主すべり系 B4 の活動及び共役すべり系 C1 の活動は観察されなかった．これは、両すべり系はローマ・コッテレルの不動転位を形成する関係にあり、この転位反応によって互いのすべり運動が抑制されたものと考えられる．結果として三番目にシュミット因子の大きい B5 のすべり系が活動することで突き出し/入り込みを形成した．図 4(b)は、試験後の TEM 観察像を示す．転位壁の間隔は  $1 \mu\text{m}$  程度であり、転位壁の分布は負荷方向に対して垂直に近い方向に広がっている．また、転位壁間の転位密度は低くなっている．図 3(c)は、二重すべり方位を有する試験片に対して応力振幅を変えた疲労試験（応力振幅： $r_{ss}/2 = 50 \text{ MPa}$ ）を行った後の内部観察像を示す．このとき、試験片中央部では、極めて転位密度の高い円柱状転位壁の形成が観察された．この応力振幅では複数のすべりが同時に活動し始めたことが原因と考えられる．

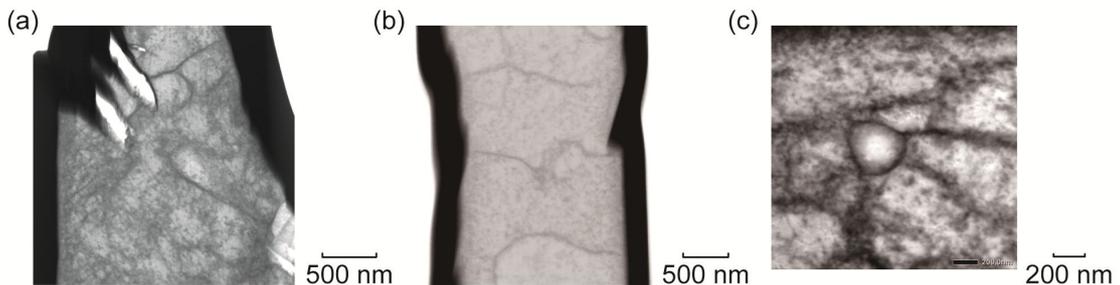


図 4 マイクロ Cu 試験片の超高压電子顕微鏡観察結果：(a)単一すべり方位を有する試験片の転位構造，(b)二重すべり方位を有する試験片中の転位構造，(c)二重すべり方位を有する試験片中で観察された円柱状転位構造．

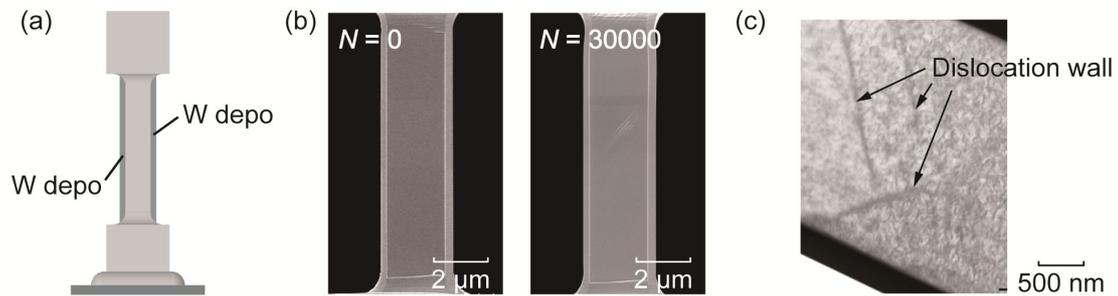


図5 (a) タングステン (W) 蒸着により対向面に異材界面を設けた銅単結晶マイクロ試験片, (b) 繰り返し負荷試験前後の試験片に対する SEM 観察像, (c) 試験片中で観察された直線状転位壁.

マイクロ試験片に繰り返し負荷を与えると, 内部には幅数十 nm の転位壁が形成され, 結晶方位や応力振幅の操作により, 転位壁の形状を制御できる可能性が示された. 通常, マクロ Cu において本試験と同様の応力振幅を負荷すると, 疲労初期の材料内部では転位が集まったベイン構造を生じ, その際, 試験片は繰り返し加工硬化を生じる. 一方, 今回の実験においてマイクロ材料では繰り返し加工硬化は一切示さず, さらに内部にベイン構造は観察されなかった. これは, 試験片体積に対する表面の影響割合が大きく, 容易に転位が外部へ射出されたことが原因と考えられ, これにより転位壁のみの構造が形成されたものと考えられる.

単一すべり方位及び多重すべり方位を有する試験片では, 突き出し/入り込みの形成により材料の外形は大きく変化した. この変化を抑制するために, 単一すべり方位を有する試験片に関して, 主すべり方向と対向する側面に W 蒸着を行った試験片を作製した (図 5(a)). 図 5(b) は, 試験前後の試験片の SEM 観察像を示す. 試験片中央部に若干のすべり帯の痕跡が見られるものの, 試験片外形の変化は見られない. 図 5(c) は, 試験後の試験片の内部観察像を示す. 異材界面からの拘束により, 試験片内部には直線状の転位壁の形成が見受けられた.

以上のように, 表面や界面の影響を受けやすいマイクロサイズの試験片では, 繰り返し変形を与えることによって, 内部に厚さ数十 nm の転位壁を形成する. この転位壁の構造は, 結晶方位, 応力振幅及び界面からの変形拘束によって, 形状を制御できる可能性があることが明らかとなった.

#### <引用文献>

- T. Shimada, T. Xu, Y. Araki, J. Wang, T. Kitamura, Multiferroic Dislocations in Ferroelectric  $\text{PbTiO}_3$ , NANO LETTERS, Vol.17(4), 2017, 2674-2680.
- S. Sresh, Fatigue of materials, Cambridge University Press, 1998.
- T. Sumigawa, K. Byungwoon, Y. Mizuno, T. Morimura, and T. Kitamura, In situ observation on formation process of nanoscale cracking during tension-compression fatigue of single crystal copper micron-scale specimen (peer-reviewed), Acta Materialia, Vol.153, 2018, 270-278.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takayuki Kitamura, Takashi Sumigawa, Takahiro Shimada	4. 巻 187
2. 論文標題 Challenge toward nanometer scale fracture mechanics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 33-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.10.009">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.10.009</a>	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 Pasquale Gallo, Takashi Sumigawa, Takayuki Kitamura, Filippo Berto	4. 巻 95
2. 論文標題 Static assessment of nanoscale notched silicon beams using the averaged strain energy density method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical and Applied Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 261-269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.03.007">https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.03.007</a>	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 Takashi Sumigawa, Kim Byungwoon, Yuki Mizuno, Takuma Morimura, and Takayuki Kitamura	4. 巻 153
2. 論文標題 In situ observation on formation process of nanoscale cracking during tension-compression fatigue of single crystal copper micron-scale specimen	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 270-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.04.061">https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.04.061</a>	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 Molly Bazilchuk, Takashi Sumigawa, Takayuki Kitamura, Zhiliang Zhang, Helge Kristiansen and Jianying He	4. 巻 -
2. 論文標題 Deformation and fracture of micron-sized metal-coated polymer spheres: an in-situ study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 1800049-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1002/adem.201800049">https://doi.org/10.1002/adem.201800049</a>	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 Li-cheng Guo, Kai Huang, Takashi Sumigawa, Yabin Yan, Takayuki Kitamura	4. 巻 196
2. 論文標題 Unstable cracking behavior in nanoscale single crystal silicon: Initiation, unstable propagation and arrest	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 113-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.04.014">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.04.014</a>	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 Yabin Yan, Kai Huang, Takashi Sumigawa, Takayuki Kitamura	4. 巻 193
2. 論文標題 Fracture criterion of mixed-mode crack propagation along the interface in nanoscale components	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 137-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.02.014">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.02.014</a>	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 Le Van Lich, Takahiro Shimada, Jie Wang, Kairi Masuda, Tinh Quoc Bui, Van-Hai Dinh, Takayuki Kitamura	4. 巻 190
2. 論文標題 Continuum thermodynamics of unusual domain evolution-induced toughening effect in nanocracked strontium titanate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 232-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.12.030">10.1016/j.engfracmech.2017.12.030</a>	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 Xu Hou, Huiyu Li, Takahiro Shimada, Takayuki Kitamura, Jie Wang	4. 巻 123(12)
2. 論文標題 Effect of geometric configuration on the electrocaloric properties of nanoscale ferroelectric materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 124103 (8 pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.5020584">10.1063/1.5020584</a>	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 Xiaoyuan Wang, Yabin Yan, Takahiro Shimada, Jie Wang, Takayuki Kitamura	4. 巻 123(11)
2. 論文標題 Ferroelectric critical size and vortex domain structures of PbTiO <sub>3</sub> nanodots: A density functional theory study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 114101 (7 pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5013049	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 Jie Wang, Yajun Zhang, Mohapatra Prakash Kumar Sahoo, Takahiro Shimada, Takayuki Kitamura, and Tong-Yi Zhang	4. 巻 8
2. 論文標題 Giant magnetoelectric effect at the graphone/ferroelectric interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12448 (9 pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-30010-x	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 Tao Xu, Takahiro Shimada, Yasumitsu Araki, Masataka Mori, Gen Fujimoto, Jie Wang, Tong-Yi Zhang, and Takayuki Kitamura	4. 巻 5
2. 論文標題 Electron engineering of metallic multiferroic polarons in epitaxial BaTiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 npj Computational Materials	6. 最初と最後の頁 23 (7 pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41524-019-0163-6	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 Le Van Lich, Tinh Quoc Bui, Takahiro Shimada, Takayuki Kitamura, Trong-Giang Nguyen, and Van-Hai Dinh	4. 巻 11
2. 論文標題 Deterministic switching of polarization vortices in compositionally graded ferroelectrics using a mechanical field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 54001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.054001	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 Takayuki Kitamura, Takashi Sumigawa, Kai Huang, Yabin Yan, Li-cheng Guo	4. 巻 100
2. 論文標題 Novel experimental contrivance on competitive cracking in multilayered nano-structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Theoretical and Applied Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 319-327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.01.033">https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.01.033</a>	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 Takashi Sumigawa, Shin Uegaki, Tetsuya Yukishita, Shigeo Arai, Yoshimasa Takahashi, and Takayuki Kitamura	4. 巻 A764
2. 論文標題 FE-SEM in situ observation of damage evolution in tension-compression fatigue of micro-sized single-crystal copper	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A	6. 最初と最後の頁 138218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138218">https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138218</a>	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 金子遼太, 山本幹也, 澄川貴志, 北村隆行	4. 巻 68(11)
2. 論文標題 斜め蒸着法で作製した銅ナノラセン要素集合薄膜の優れた疲労強度特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 845-851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2472/jsms.68.845">https://doi.org/10.2472/jsms.68.845</a>	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 Kai Huang, Takashi Sumigawa, Takayuki Kitamura	4. 巻 133
2. 論文標題 Load-dependence of damage process in tension-compression fatigue of microscale single-crystal copper	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105415">https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105415</a>	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 Ryota Kaneko, Tetsuya Yukishita, Takashi Sumigawa, Takayuki Kitamura	4. 巻 695
2. 論文標題 Nonlinear Elasticity in Meta-Film Comprising of Nano-Helices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 137749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137749">https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137749</a>	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 Yabin Yan, Takashi Sumigawa, Xiaoyuan Wang, Wufan Chen, Fuzhen Xuan, Takayuki Kitamura	4. 巻 171
2. 論文標題 Fatigue curve of microscale single-crystal copper: An in situ SEM tension-compression study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Sciences	6. 最初と最後の頁 105361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105361">https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105361</a>	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9件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Takashi Sumigawa
2. 発表標題 Formation of Slip Bands in Nano-polycrystalline Copper sandwiched between Brittle Materials
3. 学会等名 European conference on fracture (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Sumigawa
2. 発表標題 Fatigue of single-crystal gold micro-specimen by resonant vibration
3. 学会等名 1st International Conference on Theoretical, Applied, Experimental Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Kitamura
2. 発表標題 Challenge toward Fracture Mechanics in Atomic Scale
3. 学会等名 European conference on fracture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Shimada
2. 発表標題 QM/MM modeling of brittle fracture from a dislocation core in SrTiO <sub>3</sub>
3. 学会等名 15th Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Shimada
2. 発表標題 Multiferroic polarons in doped perovskite oxides
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Sumigawa
2. 発表標題 Fatigue of Micro-sized Copper Single Crystal Specimen under Fully-reversed Axial Loading
3. 学会等名 5th International Conference on Materials and Reliability (ICMR-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澄川貴志
2. 発表標題 マイクロ金属の引張圧縮疲労
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澄川貴志
2. 発表標題 マイクロ金属の疲労挙動観察
3. 学会等名 日本金属学会 2019年 秋季（第165回）講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 電子顕微鏡内での微小材料の強度評価実験
2. 発表標題 電子顕微鏡内での微小材料の強度評価実験
3. 学会等名 第11回 RC278「産業変革期の電子実装技術における信頼性設計と熱制御に関する研究分科会」（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ホームページ等  <a href="https://researchmap.jp/7000008648">https://researchmap.jp/7000008648</a>  <a href="http://cyber.me.kyoto-u.ac.jp">http://cyber.me.kyoto-u.ac.jp</a></p>
--

## 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	嶋田 隆広  (Shimada Takahiro)  (20534259)	京都大学・工学研究科・准教授       (14301)	