

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：83906

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18196

研究課題名（和文）実空間における超精密原子位置計測技術の開拓

研究課題名（英文）Developments in high-precision atomic position measurement in real space

研究代表者

小林 俊介（Kobayashi, Shunsuke）

一般財団法人ファインセラミックスセンター・その他部局等・主任研究員

研究者番号：60714623

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：エネルギー関連材料において原子レベルでの構造制御が重要となり界面や表面などの局所領域における僅かな原子配列変化を評価する計測技術が望まれている。本研究では走査透過電子顕微鏡（STEM）法を用いた実空間計測においてサブピコメートルスケールの計測精度実現を目的とした。そして、計測精度を2倍以上に向上させサブピコメートルスケールでの精密原子位置計測を達成し、応用計測としてこれまで困難であった原子配列の変化を計測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における高精度原子位置計測の実現は、これまで困難であった様々な材料分野へもSTEM法の適用が可能となることを意味している。すなわち、電子顕微鏡分野における学術的意義だけでなく、本計測技術の応用を通して得られる原子分解能レベルでの新たな知見は、低炭素社会実現へ向けたエネルギー関連材料開発へ大きく貢献する社会的意義のある研究成果でもある。

研究成果の概要（英文）：In energy-related materials, structural control at the atomic level is becoming more important, and measurement techniques to evaluate small changes in atomic arrangement at local regions, such as interfaces and surfaces, are desired. In this study, we aimed to achieve sub-picometer scale measurement accuracy in real space using scanning transmission electron microscopy (STEM). We successfully improved the measurement precision by more than twofold, enabling precise atomic position measurements at the sub-picometer scale. As an application, we successfully measured atomic arrangement changes, which was previously challenging.

研究分野：電子顕微鏡法による構造解析

キーワード：走査透過電子顕微鏡 情報科学 計測 エネルギー関連材料 触媒 電池 欠陥

### 1. 研究開始当初の背景

現代社会の産業を支えている半導体、触媒や電池材料などにおいて原子レベルでの構造制御が重要となり、界面や表面などの局所領域における僅かな原子配列の変化を評価する計測技術が望まれている。局所領域における原子変位を計測できる手法の一つが走査透過電子顕微鏡 (Scanning transmission electron microscopy: STEM)法である(図 1a)。特に、STEM 法の観察手法の一つである高角度散乱暗視野 (high angle annular dark-field: HAADF) 法では、高角度側へ散乱された電子を用いることで、観察される輝点が原子位置に対応し、また、その輝点強度が原子番号に依存することから像解釈が容易となる(図 1b)。これらの利点から STEM 法は局所領域の構造解析において広く普及した手法となった。一方、研究開始当初、STEM 法における原子位置の計測精度は約 2 ピコメートル (picometer: pm,  $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ ) であり、その適用範囲は 5 ~ 10 pm 程度の原子変位計測に限られていた。これまで困難であった計測対象として Pt (111)表面がある。Pt (111)表面では理論計算モデルから表層は約 2 pm 膨張することが予測されている。ここで、測定対象 A を計測するために必要な測定精度 B は  $A : B = 4 : 1$  以上とされる。Pt (111)表面を計測する場合、約 2 pm (= 2000 fm) の変化を計測するには 500 fm (=  $2000 \text{ fm} \times 1/4$ ) の測定精度が必要となる。STEM 法による原子位置計測精度をピコメートルスケールからサブピコメートルスケールに向上させることは僅かな原子配列の変化に起因した機能発現をより深く理解することで材料開発に大きく貢献しうる研究課題である。

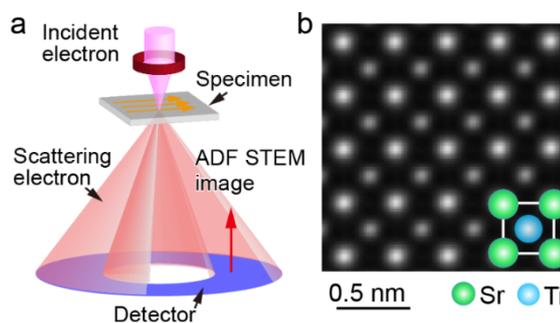


図 1. (a) STEM 法の概略図. (b) ペロブスカイト酸化物 SrTiO<sub>3</sub> から取得した HAADF STEM 像。

### 2. 研究の目的

本研究では STEM 法による高精度画像取得、解析技術、画像処理技術を通して表面や界面などの局所領域における既存計測精度を超えたサブピコメートルスケールでの精密原子位置計測の実現を目的とした。また、応用計測として適用が困難であった材料へ適用し、構造解析の側面から新たな知見を獲得することも目的とした。

### 3. 研究の方法

図 2a に STEM 像取得方法の概略図を示す。通常、STEM 法におけるスキャンを用いた画像取得には一定の時間が必要であり、その画像取得中に生じるイメージドリフト (試料ドリフトや磁界レンズを用いることによる収差やフォーカスドリフト) による像の歪が原子位置精度を低下させる要因となる。スキャンを用いた画像取得におけるイメージドリフトを克服する手法として、高速スキャンによりイメージドリフトを低減させ、また、数十枚の像を取得し画像強度を重ね合わせることで SNR (signal to noise ratio) を向上させる手法を用いた[1]。具体的には図 2a に示すように HAADF STEM 像 1 フレームを 1 ~ 2 秒で多数取得する。その後、各画像のイメージドリフト補正を行い、各ドリフト補正後の画像強度を積算することにより、イメージドリフトの小さく SNR の高い画像の取得が可能となる (図 2b)。この手法を用いて、収差補正装置を搭載した走査透過電子顕微鏡像装置によりペロブスカイト酸化物 SrTiO<sub>3</sub> から取得した画像を用いて精度検証を行った。SrTiO<sub>3</sub> は理想的な立方晶系ペロブスカイト酸化物 (空間群 Pm-3m) であり Ti イオン位置は幾何中心と一致する。すなわち、Ti イオンの幾何中心からのずれを算出し、原子位置精度を示す誤差を用いて精度評価を実施した。SrTiO<sub>3</sub> から取得した HAADF STEM 像の各輝点の中心位置を 2 次元 Gaussian fitting によりサブピクセル精度で算出し座標データ化する。得られた各輝点座標から Ti 変位量  $d_{Ti}$  および変位角度  $\theta_{Ti}$  を算出した。一連の画像解析は MatLab ソフトウェアにより構築したプログラムを用いて実施した[2]。以上の画像取得方法および評価方法を用いて STEM 像取得時の観察条件を網羅的に検証し、実験における原子位置精度の向上を実施した。応用計測として Pt および Pt<sub>3</sub>Co 表面の Pt-Pt 原子間距離計測を実施し、機械学習を含む各種画像処理による原子位置精度の検証も実施した。

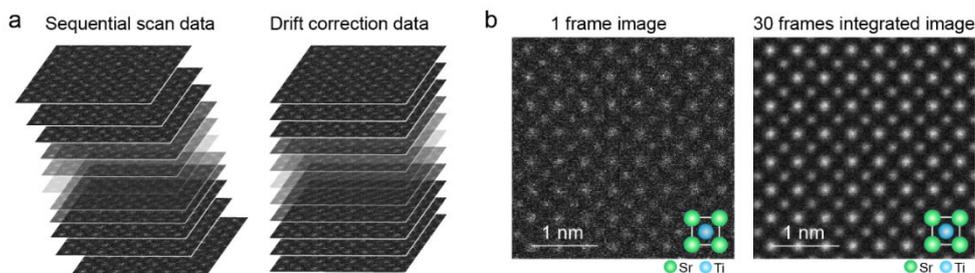


図 2. (a)積算 STEM 像取得方法概略図. (b) SrTiO<sub>3</sub> から取得した HAADF STEM 像の 1 フレーム像と 30 フレームの画像による積算像.

#### 4. 研究成果

(1) STEM 法による原子位置精度を向上させるため、計測条件を網羅的に検証した。具体的には、入射電子線収束角、検出器取り込み角度、プローブ電流量、トータル電子線量、取得画像サイズ、フレーム数、ドリフト補正方法、取得条件の空間分解能依存性などを検証し、既存装置における原子位置精度の最適化を実施した。最適化条件において SrTiO<sub>3</sub> から取得した HAADF STEM 像の各 Ti イオンの幾何中心位置からのずれを算出した。Ti イオン変位量の標準偏差は研究開始当初の STEM 法における原子位置の計測精度を 2 倍以上向上させサブピコメートルスケールでの精密原子位置計測条件を実現することに成功した。

(2) Pt は酸素還元反応 (ORR) を促進するために重要な元素であり、Pt ナノ粒子や Pt 系合金粒子は自動車用固体高分子形燃料電池 (PEFC) の触媒として広く使用されている。Pt (111) 表面は高い触媒活性を示すことが知られており、本研究では (111) 表面に着目した。ここで、STEM 法により得られるデータは投影像となる。Pt (111) 表面を [1-10] 晶帯軸方向から観察をした場合、図 3a に示す投影 Pt-Pt 原子間距離を計測することになる。ここで Pt-Pt 原子間距離  $d_1$  と  $d_2$  の 2 つを定義して計測を実施した。図 3b に Pt (111) 表面の ADF STEM 像を示す。この図 3b に示す STEM 像から各輝点中心を求め  $d_1$  と  $d_2$  の Pt-Pt 原子間距離を計測した結果を図 3c に示す。真の値  $d_{1t}$  (= 240.24 pm),  $d_{2t}$  (= 240.24 pm) と、実験データ像から得られた測定値を  $d_{1m}$  と  $d_{2m}$  とし、 $\Delta d_1 = d_{1m} - d_{1t}$  と  $\Delta d_2 = d_{2m} - d_{2t}$  と定義した。またカラーマップにおいて赤は膨張、青は収縮を示している。(111) 表面に平行方向の  $\Delta d_1$  は内部から表面において顕著な変化は認められず、概ね一定であった。一方で、表面に対して斜め方向の  $\Delta d_2$  の Pt-Pt 原子間距離は表面で僅か数 pm 程度膨張する。また、これらの計測データを各層ごとの平均値をプロットした結果、表層では膨張、第 2 層目、3 層目では収縮し、4 層目以降では変化が無くなることを確認した。この計測結果は、本研究を通して実施した Pt (111) 表面の第一原理計算による表面構造モデルと良い一致を示した。すなわち、計測精度を向上させることにより初めて実空間において僅か数 pm 程度の膨張と収縮が Pt (111) 表面に形成されていることを明らかにすることに成功した。

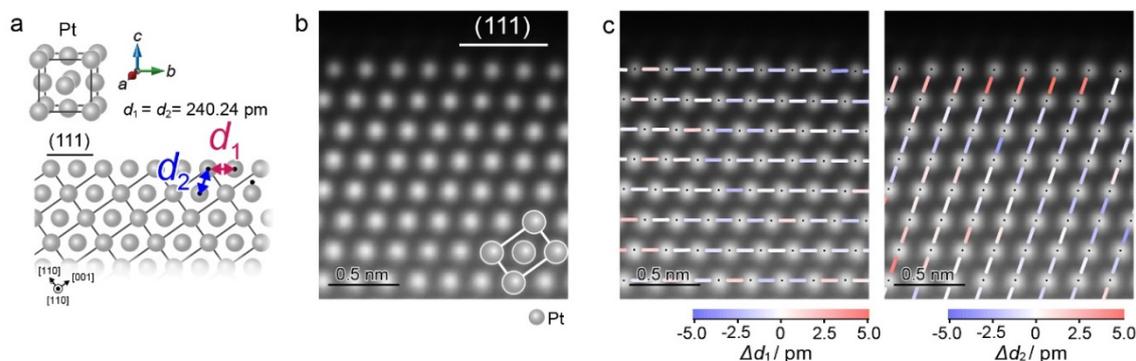


図 3 (a) Pt の結晶構造モデルと [1-10] 方向から見た Pt (111) 表面のモデル。計測する投影 Pt-Pt 原子間距離を  $d_1$  と  $d_2$  とした。(b) Pt (111) 表面の ADF STEM 像。(c) ADF STEM 像から測定された投影 Pt-Pt 原子間距離  $d_1$  と  $d_2$  のカラーマップ。

(3) STEM 法では 0.1 nm 以下にまで収束した電子プローブを試料に照射・走査し、原子による散乱を利用して原子像を取得する。入射された電子は入射方向の原子列を伝番し散乱される。この

時、表面におけるバルク内部とは異なる結晶配列領域において、STEM 法で得られた輝点中心が原子位置と一致するの画像シミュレーションを用いて検証を行った。画像シミュレーションでは表面における緩和を考慮せず、表面から内部まで格子定数が同一となるモデル結晶を用いて実施した。

図 4a に電子線入射方向に対して試料厚さを変化させた Pt (111)表面構造モデルを用いた ADF STEM 像シミュレーションの結果を示す。また、各シミュレーション像に対して Pt-Pt 原子間距離  $\Delta d_1$  と  $\Delta d_2$  のカラーマップを示す。表面から内部への各層の原子間距離変化をプロットした結果を図 4b, c に示す。図 4b より  $d_1$  はほとんど変化が見られない。一方、 $d_2$  (図 4c) は真の値から収縮しており、その収縮の大きさは試料の厚さが増すにつれて増加する傾向があることが確認された。表面における ADF STEM 像の輝点中心位置と真の値からの差異は、結晶表面での非対称な電子ビームの伝播によって引き起こされると推察される。電子プローブは、プローブ位置に対する原子列だけでなく、隣接する原子列にも伝播することが報告されている。これは、隣接する原子列も ADF STEM 像の輝点形成に関与していることを意味している。表面では一方が真空であり、隣接する原子列が輝点形成に与える影響が結晶内部とは異なる。したがって、表面では隣接する片側だけが輝点形成に関与するため、輝点中心が結晶内部に向かってシフトするアーティファクトが生じると推察される。

像シミュレーションを通じた結晶表面における検証から表面効果によるアーティファクトが ADF STEM 像において輝点シフトを引き起こすことを明らかにした。表面の Pt 原子列に対応する輝点が結晶内部に向かってシフトし、STEM 法による結晶表面での原子間距離測定では試料の厚さに応じて  $\Delta d_2 \approx -0.40$  pm ( $t = 2$  nm) から  $\Delta d_2 \approx -2.86$  pm ( $t = 20$  nm) 程度、過小評価となることを意味している。ただし、厚さが 5 nm 未満の表面を観察する場合、表面効果によるアーティファクトは測定誤差内となるため、計測結果への影響は少ないと考えられる。一方で、将来的に装置の安定性と解像度が向上し、原子位置精度がさらに向上すると、表面でのアーティファクトによる原子変位の影響も考慮して測定結果を検証する必要があると結論付けられる[3]。

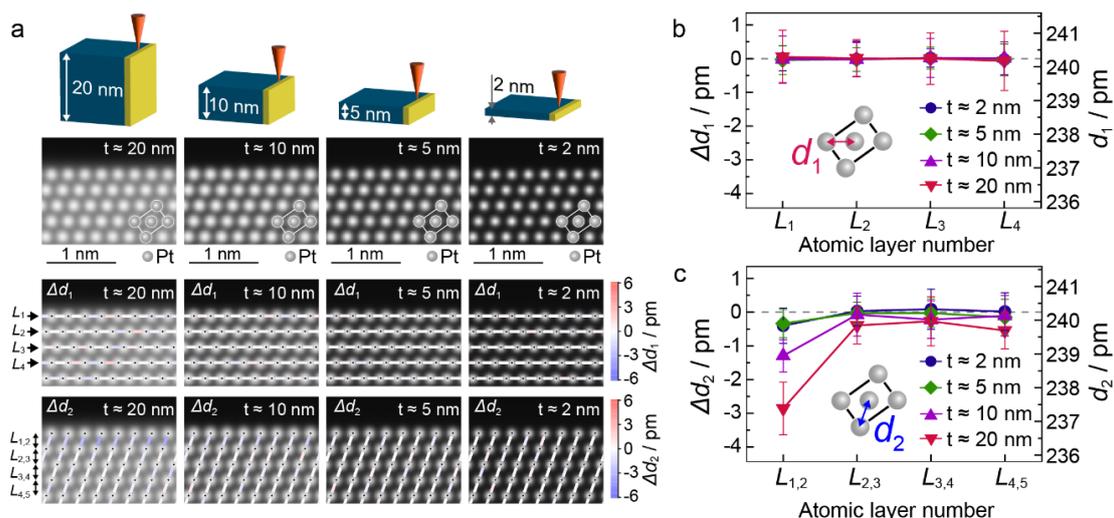


図 4. (a) 異なる結晶厚でシミュレーションした ADF STEM 像と各 ADF 像から測定された Pt-Pt 原子間距離のカラーマップ。上部模式図の黄色領域は表面を示す。表面から内部への各層における (c)  $d_1$  と (d)  $d_2$  の Pt-Pt 原子間距離変化プロット。

(4) Pt<sub>3</sub>Co には Pt と Co がランダムに分布した固溶体 (不規則相) と周期的に配列した金属間合金 (規則相) の 2 つの結晶構造が知られている。金属間合金は固溶体よりも優れた触媒活性と耐久性を示し、金属間化合物触媒の開発は有望な研究分野の一つである。そこで、金属間合金 Pt<sub>3</sub>Co 粒子に形成された Pt スキン層の原子間距離計測を実施した。Pt と金属間化合物 Pt<sub>3</sub>Co は、それぞれ立方晶構造を持ち、空間群はそれぞれ Fm-3m ( $a = 0.3923$  nm) および Pm-3m ( $a = 0.3841$  nm) となる。(111)表面上の Pt スキン層(図 5a)は、高い ORR 活性を持つ表面であり、内部の Pt<sub>3</sub>Co の格子定数が小さいため圧縮方向のひずみとなる。つまり、Pt スキン層の面内格子定数は Pt<sub>3</sub>Co と一致し、圧縮ひずみにより [111] 方向に膨張することが予想される。

図 5b に Pt スキン層が形成した Pt<sub>3</sub>Co (111)表面から取得した HAADF STEM 像を示す。ここで表面(111)に対して斜め鉛直方向の投影 Pt-Pt 原子間距離  $\Delta d_2$  の計測を行ったカラーマップを図 5c に示す。純粋な Pt 表面と比較して、Pt<sub>3</sub>Co 表面では特定の構造緩和が観察された。図 5d に各層に対する各 Pt-Pt 原子間距離の変化をプロットした結果を示す。 $L_{1,2}$  層および  $L_{2,3}$  層の Pt スキン層で

は Pt-Pt 原子間距離  $\Delta d_2$  が純粋な Pt 表面よりも膨張していることが分かる。これは、(111)表面に平行な Pt-Pt 原子間距離の平均値は Pt スキン層と Pt<sub>3</sub>Co 側において概ね一致しており、Pt スキン層に圧縮方向のひずみが加わったためである。Pt 結晶と比較して、Pt<sub>3</sub>Co 上の Pt スキン層の L<sub>1,2</sub> 層の Pt-Pt 原子間距離は  $\Delta d_2 = 3.3$  pm 膨張していた。また、第一原理計算を用いた表面構造モデルと計測結果は良く一致することを確認した。この理論計算モデルから表面の電子状態が純粋な Pt 表面から大きく変化し、この変化が触媒活性向上の起源であることが予測される。実験による高精度原子間距離計測と理論計算より、Pt スキン層を形成させて Pt<sub>3</sub>Co 表面における触媒活性向上の起源の一つを明らかにした成果である。

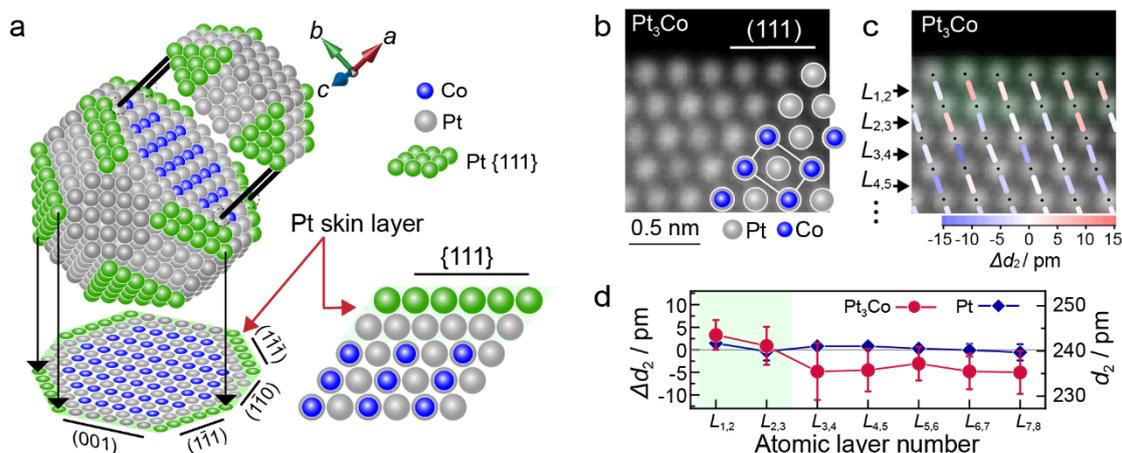


図 5 (a) Pt<sub>3</sub>Co 粒子の Pt スキン層構造モデル。粒子下部には透過型電子顕微鏡像により得られる投影像の模式図を示す。(b) Pt<sub>3</sub>Co (111)表面の Pt スキン層の HAADF STEM 像。(c)Pt-Pt 原子間距離  $\Delta d_2$  のカラーマップ。(d) 各層における  $\Delta d_2$  の投影 Pt-Pt 原子間距離のプロット。

## (5) 画像処理技術の検証

実験で得られた原子位置精度をさらに向上させるために、機械学習アルゴリズムを含む画像処理技術の適用を検証した。各画像処理により鮮明な画像を得ることができる。一方で、特定の画像データにおいて原子位置精度の向上が確認されたが、画像再構成のバイアスにより輝点が既定位置から僅かに変化する可能性があることが確認された。現時点において機械学習アルゴリズムなどを含めた各種画像処理像からサブピコメートルスケールで情報を抽出する場合、各種パラメータを精査し画像処理にともなう情報変化を慎重に検討を行い適用していく必要があることを意味している。一方で、SNR が低い画像、すなわち、原子位置精度が十数ピコメートルスケールオーダーの画像に対しては画像処理が有効であることを確認した。これは、高速スキャンによる動画撮影データなどへの活用ができることを意味している。今後、STEM 法による原子分解能レベルでの In-situ 計測において機会学習を含む画像処理技術が重要となると結論付けられる。

## <引用文献>

1. K. Kimoto et al., "Local Crystal Structure Analysis with Several Picometer Precision Using Scanning Transmission Electron Microscopy", *Ultramicroscopy* **110**, 778-782 (2010).
2. S. Kobayashi et al., "Multiphase Nanodomains in a Strained BaTiO<sub>3</sub> Film on a GdScO<sub>3</sub> Substrate", *J. Appl. Phys.* **123**, 064102 (2018).
3. S. Kobayashi et al., "Artifactual Atomic Displacements on Surfaces Using Annular Dark-Field Images with Image Simulation", *Microscopy*, (2024).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shen Yufan, Ooe Kousuke, Yuan Xueyou, Yamada Tomoaki, Kobayashi Shunsuke, Haruta Mitsutaka, Kan Daisuke, Shimakawa Yuichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Ferroelectric freestanding hafnia membranes with metastable rhombohedral structure down to 1-nm-thick	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4789
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-024-49055-w	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 Zhou Jinling, Huang Hsin Hui, Kobayashi Shunsuke, Yasui Shintaro, Wang Ke, Eliseev Eugene A., Morozovska Anna N., Yu Pu, Takeuchi Ichiro, Hong Zijian, Sando Daniel, Zhang Qi, Valanoor Nagarajan	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 An Emergent Quadruple Phase Ensemble in Doped Bismuth Ferrite Thin Films Through Site and Strain Engineering	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2403410
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adfm.202403410	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 Kobayashi Shunsuke, Ooe Kousuke, Nakayama Kei, Kuwabara Akihide	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Artifactual atomic displacements on surfaces using annular dark-field images with image simulation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfae001	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 Nomura Yuki, Anada Satoshi, Kobayashi Shunsuke	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Bayesian inference of atomic column positions in scanning transmission electron microscopy images	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfae025	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 Huang Hsin-Hui, Kobayashi Shunsuke, Tanabe Toyokazu, Komiyama Kaihei, Saito Miwa, Motohashi Teruki, Kuwabara Akihide	4. 巻 10
2. 論文標題 Atomic-level characterization of the oxygen storage material YBaCo407+ synthesized at low temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 23087 ~ 23094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ta03952d	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 Kobayashi Shunsuke	4. 巻 40
2. 論文標題 Hafnium oxide films grown on silicon substrates by electron beam-induced deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology B	6. 最初と最後の頁 060602 ~ 060602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0002140	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 Kobayashi Shunsuke, Watanabe Hideaki, Kato Takeharu, Mizuno Fuminori, Kuwabara Akihide	4. 巻 14
2. 論文標題 Atomic-Scale Observations of Oxygen Release Degradation in Sulfide-Based All-Solid-State Batteries with Layered Oxide Cathodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 39459 ~ 39466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.2c06950	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 Kobayashi Shunsuke, Yokoe Daisaku, Fujiwara Yasuyuki, Kawahara Kazuaki, Ikuhara Yuichi, Kuwabara Akihide	4. 巻 22
2. 論文標題 Lithium Lanthanum Titanate Single Crystals: Dependence of Lithium-Ion Conductivity on Crystal Domain Orientation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5516 ~ 5522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.2c01655	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 Li Hao-Bo, Kobayashi Shunsuke, Zhong Chengchao, Namba Morito, Cao Yu, Kato Daichi, Kotani Yoshinori, Lin Qianmei, Wu Maokun, Wang Wei-Hua, Kobayashi Masaki, Fujita Koji, Tassel Cedric, Terashima Takahito, Kuwabara Akihide, Kobayashi Yoji, Takatsu Hiroshi, Kageyama Hiroshi	4. 巻 143
2. 論文標題 Dehydration of Electrochemically Protonated Oxide: SrCoO <sub>2</sub> with Square Spin Tubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17517 ~ 17525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c07043	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 小林 俊介	4. 巻 61
2. 論文標題 金属材料実験の手引き 1. 組織観察 1-5 組織写真のデジタル画像処理の基礎	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 218 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.218	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29件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 小井沼 敏, 小林俊介, 小菅大輝, 山本隆文, 桑原彰秀
2. 発表標題 SrCrO <sub>3-d</sub> の電子線照射による酸素欠損形成挙動の検討
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第79回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介, 加藤丈晴, 桑原彰秀
2. 発表標題 硫化物系全固体電池における正極活物質と電解質界面の劣化挙動解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第79回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G. Koinuma, S. Kobayashi, T. Kosuge, T. Yamamoto, A. Kuwabara
2. 発表標題 Investigation of Oxygen Defect Formation in SrCrO <sub>3</sub> by Electron Beam Irradiation
3. 学会等名 International Workshop on Advanced and In-situ Microscopies of Functional Nanomaterials and Devices (IAMNano 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小井沼 徹, 小林俊介, 小菅大輝, 山本隆文, 桑原彰秀
2. 発表標題 SrCrO <sub>3</sub> への電子線照射による酸素空孔の形成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介, 加藤丈晴, 桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡法を用いた全固体電池における正極活物質と硫化物電解質界面の劣化解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Kobayashi
2. 発表標題 Atomic-scale analysis of interfaces in cathodes and between cathodes and electrolytes in lithium-ion batteries
3. 学会等名 20th International Microscopy Congress (IMC20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G. Koinuma, S. Kobayashi, T. Kosuge, T. Yamamoto, A. Kuwabara
2. 発表標題 Examination of oxygen vacancy formation in SrCrO <sub>3</sub> by electron beam irradiation
3. 学会等名 20th International Microscopy Congress (IMC20)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Kobayashi, T. Kato, A. Kuwabara
2. 発表標題 Analysis of Irreversible Passivation Layer at the Interface between Layered Cathode Active Materials and Solid Electrolyte in Sulfide-based All-solid-state Batteries
3. 学会等名 International Workshop on Advanced and In-situ Microscopies of Functional Nanomaterials and Devices (IAMNano 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林明珠, 穴田智史, 小林俊介, 五十嵐康彦
2. 発表標題 STEM画像の超解像処理による原子位置計測精度の改善の検討
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第80回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小井沼徹, 小林俊介, 穴田智史, 桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過型電子顕微鏡法による原子変位解析の精度検証
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第80回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小林俊介, 大江耕介, 仲山啓, 小井沼巖, 穴田智史, 桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡法を用いたPt(111)表面の原子間距離計測
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第80回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小林俊介, 大森雄貴, 黄馨慧, 桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡法を用いたPt系触媒の表面原子間距離精密計測
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 穴田智史, 小林俊介, 山本和生
2. 発表標題 HAADF STEM法による原子位置計測におけるノイズ低減の有効性
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 小林俊介
2. 発表標題 電子線誘起蒸着法による酸化ハフニウムの堆積
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林俊介, 横江大作, 藤原靖幸, 川原一晃, 幾原雄一, 桑原彰秀
2. 発表標題 チタン酸リチウムランタン単結晶を用いた Li イオン伝導のドメイン依存性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林俊介, 横江大作, 藤原靖幸, 川原一晃, 幾原雄一, 桑原彰秀
2. 発表標題 ペロブスカイト型酸化物LLTO単結晶を用いたLiイオン伝導と結晶ドメイン依存性
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林俊介, 大森雄貴, 黄馨慧, 桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡法を用いた白金系触媒表面の原子間距離精密計測
3. 学会等名 第13回新電極触媒シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林俊介
2. 発表標題 EELSを用いた遷移金属化合物の価数評価と応用
3. 学会等名 2023 年新春電子顕微鏡解析技術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介
2. 発表標題 電子ビーム誘起蒸着法によるシリコン基板への酸化ハフニウム堆積
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 2023 年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介, 大森雄貴, 黄馨慧, 桑原彰秀
2. 発表標題 精密原子間距離計測による白金粒子表面の原子配列解析
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 2023 年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介, 大森雄貴, 黄馨慧, 桑原彰秀
2. 発表標題 HAADF STEM法を用いたPt表面の精密原子間距離計測
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林俊介
2. 発表標題 原子間距離の実空間精密計測
3. 学会等名 先鋭固体化学・物理に関する討論会(第4回)(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大森雄貴、黄馨慧、小林俊介、桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡を用いた白金表面の原子配列解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黄馨慧、小林俊介、桑原彰秀、齋藤美和、本橋輝樹
2. 発表標題 酸素吸蔵材料 YBaCo407+ の原子構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大森雄貴、黄馨慧、小林俊介、桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡を用いた白金表面の原子間距離計測
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Omori, Hsin-Hui Huang, Shunsuke Kobayashi, Akihide Kuwabara
2. 発表標題 Atomic-scale Analysis of Catalyst Particle Surfaces using Scanning Transmission Electron Microscopy
3. 学会等名 Materials Research Meeting (MRM) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大森雄貴、黄馨慧、小林俊介、桑原彰秀
2. 発表標題 走査透過電子顕微鏡を用いたPt触媒粒子表面の原子間距離計測
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期 第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shunsuke Kobayashi
2. 発表標題 Characterization of Interfaces in Li-ion Secondary Battery Electrodes Using Scanning Transmission Electron Microscopy
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林俊介
2. 発表標題 電子顕微鏡観察のための大気非暴露による試料調整と観察例
3. 学会等名 2022 年新春電子顕微鏡解析技術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

公益社団法人日本金属学会 第72回日本金属学会金属組織写真賞 優秀賞 <a href="https://www.jfcc.or.jp/prize/">https://www.jfcc.or.jp/prize/</a> 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム 特定セッション優秀ポスター発表賞 <a href="https://www.jfcc.or.jp/prize/">https://www.jfcc.or.jp/prize/</a>
--

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	穴田 智史  (Satoshi Anada)  (40772380)	一般財団法人ファインセラミックスセンター・その他部局 等・上級研究員    (83906)	

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