

科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」 研究概要

〔令和6年度事後評価用〕

令和6年6月30日現在

機関番号：13901
領域設定期間：令和元年度 ～ 令和5年度
領域番号：6103
研究領域名（和文） 機能コアの材料科学
研究領域名（英文） New Materials Science on Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores
領域代表者
松永 克志 (Matsunaga Katsuyuki)
名古屋大学・工学研究科・教授
研究者番号：20334310
交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,098,000,000円

研究成果の概要

材料内部に存在する点欠陥や粒界、界面、転位などの結晶欠陥は、多くの先進材料の優れた材料特性の発現に重要な役割を果たしている。本領域では、材料中の結晶欠陥を機能発現の源となるコア（＝機能コア）と捉え、理論計算とナノ計測、モデル試料創製の研究者が一体となり系統的な基礎研究を行うことで、電子・原子レベルから機能コアの新しい材料科学の学理を構築した。また機能コアの学理の各種材料応用を図るため、エネルギー変換材料、耐環境材料、固体イオニクス材料等の各材料分野で高い研究実績をあげている研究者と密接な共同研究を行い、新材料機能の創出や新材料の開発など、多くの革新的で創造的な研究成果を得ることに成功した。

研究分野：無機材料および物性関連、構造材料および機能材料関連

キーワード：結晶欠陥、電子構造、第一原理計算、ナノ計測、新規合成プロセス

1. 研究開始当初の背景

人類文明の発生以来、環境エネルギー・社会基盤・情報通信などの各分野で新材料が開発され、文明社会の発展を支えてきた。近年、社会の複雑化・多様化が急激に進み、材料の高性能化・高機能化・高信頼性化に対する要求がますます高くなっている。材料の基礎から応用までをカバーする材料科学は、その期待に応えるための欠かせない学問分野となっている。しかし現在、材料科学にもとづく新材料開発には停滞感が漂っている。経験やノウハウにもとづき行われてきた、伝統的な経験知にもとづく材料開発に限界が来ているためである。この状況を打破するには、既存の材料・プロセスの延長線上でない、幅広い学問分野を融合した、新しい観点に立った学問体系の構築が切望される。

従来の材料科学研究では、材料内部の「バルク領域」の平均的構造と巨視的特性を主たる対象としていた。平衡状態図や自由エネルギー、結晶構造等の経験的データベースにもとづき、材料開発が行われてきたためである。これに対し、近年、電子顕微鏡技術や計算科学が著しく発展し、材料の構造や安定性を原子レベルから高精度に解析することが可能となってきた。その結果、粒界・転位などの結晶中の「格子不整合領域」（結晶欠陥）が「バルク」と全く異なる原子配列をもち、様々な材料現象や特性と密接に関係していることが明らかにされてきた。しかし、偶発的な成功例は別にして、結晶欠陥を高度に制御して材料特性を飛躍的に向上させた革新的な材料開発につながった、という例はほとんど無い。この原因は、従来研究の多くが個別の結晶欠陥の構造解析を行った研究であり、結晶欠陥の原子レベル構造と局所特性の関係に対する系統的理解が確立されていないためである。

格子不整合領域にもとづく新しい材料科学を構築し、革新的な新材料機能創出につなげていくには、特定の結晶欠陥の原子レベル構造解析に留まるのではなく、結晶欠陥のナノ構造を系統的に制御し、さらに機能の起源まで掘り下げた研究を行う必要がある。結晶欠陥の機能は、そのバルクと異なる原子配列と局所的な化学組成に加え、そこに局在した電子、電子と相互作用する電磁場、フォトン、フォノン等によって形成される量子場を起源とする。機能発現の源となる格子不整合領域に創り出されるこの量子場こそ、本領域の研究対象とする「機能コア」である。

2. 研究の目的

これまでの材料科学や物性科学において、「機能コア」という観点での研究は存在せず、結晶欠陥の幾何学的構造の制御、光や電磁場といった外場の制御により、新奇な材料機能の創出や材

料開発を行うアイデアはなかった。材料特性の起源となる機能コアをデザインし、それを実材料にビルトインできれば、既存の材料・プロセスの延長線上にない常識を超えた材料特性の発現が期待できる。本新学術領域は「機能コアの材料科学」の基礎学理を構築し、それに基づいた新材料機能創出および新材料創製を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

機能コアという共通概念のもと、材料科学の新学理構築と新材料機能創出を目指すため、以下のような研究項目を置く。

- ・研究項目 A01 機能コアの理論解析
- ・研究項目 A02 機能コアのナノ計測
- ・研究項目 A03 機能コアに基づく新材料機能創出

粒界や界面、転位などの機能コアの構造—機能相関に関する基礎学理を構築するため、世界最高水準の電子状態計算とモデル実験（研究項目 A01）、ナノ計測（研究項目 A02）を三本柱とし、そこに関わる研究者が一体となって研究推進する。

材料の高機能化を実証する合成プロセスに関わる計画班（研究項目 A03）が、上記で明らかにする高機能コアを実材料にビルトインし、新しい材料機能および新材料の創出を目指す。

4. 研究の成果

本領域の目的は、機能コアにもとづく新材料学理の構築と新材料機能の創出である。研究項目 A01 と A02 が前者、研究項目 A03 が後者において中心的役割を果たすが、互いに密接に連携することで、相乗効果による研究開発の大きな進展を達成することができた。研究項目毎に、主な研究成果を以下に述べる。

項目 A01 機能コアの理論解析

(1) 転位・粒界・界面の新材料学理構築と新材料機能開拓

先進材料における、転位、粒界、界面の量子場とそれに起因する各種物性・特性との関係に関する多くの画期的な成果が得られた。例えば、従来の熱伝導理論では、転位を原子空孔列とするなど、非常に単純化したモデルしかなかった。これに対し、本研究では転位や粒界を高精度かつ系統的にモデル化した。その結果、酸化物中の転位・粒界による熱伝導は、欠陥コアの原子配列や結合状態（＝熱機能コア）によって決まることを見出すとともに、熱伝導予測モデルの構築にも成功した(*Nature Commun.* 2020 等、図 1)。化合物半導体結晶の力学物性に関する研究では、転位コアと光励起キャリアとの強い相互作用を見出し、それが力機能コアとして働くことで、光環境に依存した劇的な変形挙動変化に至ることを解明した(*Acta Mater.* 2020, *Phys. Rev. Mater.* 2023 等)。さらに転位コアでのキャリア捕獲に着想を得て、転位特有の発光特性や電子伝導特性の発現、つまり光・電子機能コアとしても機能させることに成功した(*J. Am. Ceram. Soc.* 2024 等)。また、微量添加イオンで修飾した力機能コア異相界面を多結晶組織にビルトインすることにより、従来強度を飛躍的に上回るセラミックスの開発にも成功し、民間企業からも注目され、切削工具としての実用化につなげた(*Sci. Rep.* 2020 等)。これらの成果は、従来別々の材料部門・業界で研究されてきたが、機能コア概念により合理的かつ統一的に、その材料特性発現原理の根本的理解とその応用が可能であることを示した。

(2) 機能コア解析のための情報科学手法開発とデータベース構築

機能コア解析および材料探索を加速させるための各種手法開発に取り組んだ。広範な物質群に適用可能な高精度機械学習ポテンシャルの構築と公開(*J. Appl. Phys.* 2023 等、図 2)により、領域内外の機能コア研究を大いに加速させた。また、電子顕微鏡から得られる電子エネルギー損失分光スペクトルなどの分光データから、材料中の局所配位構造や電子構造の情報を抽出する情報科学手法を開発するとともに、10 万以上の理論スペクトルをデータベースとして公開した(*Sci. Data* 2023 等)。これらの成果は、各種材料研究へ適用、またナノ計測班と共有することにより、機能コアのモデル化や素性解明に大きく貢献した。

以上より、機能コアのナノレベル構造と特性との関係解明や開発手法・データベース公開という、本領域の目指す学理の重要要素となる成果獲得に加え、熱や光、力場等の多彩な外部場にお

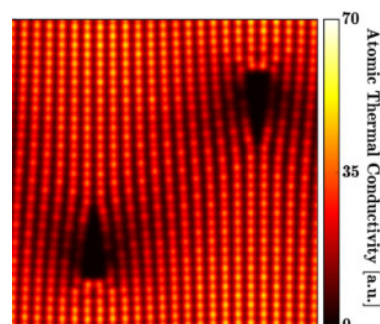


図 1 MgO 転位コア近傍の熱伝導

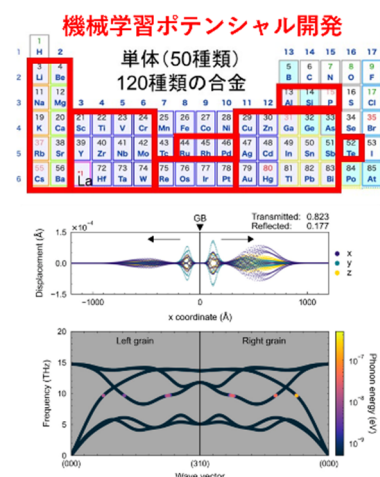


図 2 開発原子間ポテンシャルと Si 界面の構造・機能予測

ける機能コアとしての新欠陥機能の創出にも成功した。

項目 A02 機能コアのナノ計測

(1)粒界移動の動的直接観察

原子分解能 STEM 法に基づく局所量子場計測手法やその場観察法など、新規機能コア計測手法の開発に成功し、多くの革新的成果が得られた。酸化物セラミックスの組織形成や高温安定性において重要な、結晶粒界の移動を原子レベルで直接観察することに成功し、粒界移動の原子レベル機構を解明した(*Nature Mater.* 2020, 図 3)。

(2)先進材料内の局所電磁場可視化

原子分解能を有する局所電磁場観察 STEM 法を開発し、電磁気機能コアとなる半導体界面二次元電子ガスや反強磁性結晶内の原子磁場の実空間観察等に世界で初めて成功した(*Nature* 2022 等、図 4)。つまり結晶欠陥の局所量子場の可視化を実現し、機能コアに基づく材料学理構築を強力にサポートした。

以上より、機能コア量子場の直接観察・定量計測という、従来の材料科学では到底達成できなかったナノ計測に見事に成功しており、世界を先導する成果を得た。

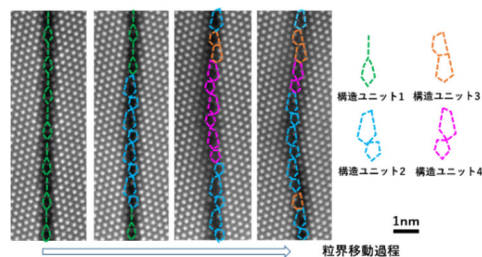


図 3 粒界移動の原子レベル直接観察

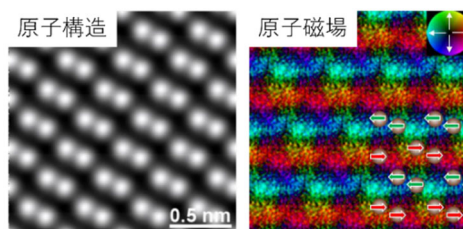


図 4 Fe₂O₃ 結晶中の原子磁場の直接観察

項目 A03 機能コア制御にもとづく新材料機能創出

(1)機能コア制御による高性能熱電材料開発

機能性酸化物における層界面を高度に制御して、高性能な熱電材料・デバイスを創製した。例えば、Na_{3/4}CoO₂ を Ba²⁺置換で Ba_{1/3}CoO₂ とすることで、熱・電子機能コアとなる層界面での原子間相互作用を制御し、空気中でも実用できる過去最高性能の熱電変換材料の開発に成功した(*J. Mater. Chem. A* 2020 等、図 5)。固体電解質である YSZ と接合させた SrCoO_x 薄膜の研究では、酸化還元により熱・電子機能コアとなる酸素空孔を制御することで、結晶構造を維持したまま熱伝導率を可逆的に大きく変化させることに成功し、全固体熱トランジスタを実現した(*Adv. Funct. Mater.* 2023 等、図 6)。また、界面におけるフォノン伝導機能に関する知見を A01(ア)班にフィードバックすることで、結晶欠陥を含む酸化物の熱伝導に関する基礎学理構築にも貢献した。

(2)機能コア概念による耐環境材料の本質理解と設計

航空機エンジン等に用いられる、Al₂O₃ 多結晶保護膜の耐久性・寿命に関わる高温での組織安定性の基本原理が、熱機能コアとなる粒界量子場(粒界バンドギャップ)であることを解明した(*Nano Lett.* 2020 等)。さらにその知見を活かし、複合酸化物の積層構造を設計することで、飛躍的な性能向上に成功した(*Acta Mater.* 2020)。高温構造材料分野においても、機能コアに立脚した研究開発アイデアが有効であること示したという点で、工業的・産業的にも大きな波及効果をもつ成果である。

(3)超高性能固体イオニクス材料の創製

イオン機能コアとなるアニオン種を A01(イ)班と探索し、その導入と制御により、世界最高のイオン伝導率を示す新硫化物系リチウム伝導体の創製に成功した(*Science* 2023, *Chem. Mater.* 2022 等、図 7)。さらには第一原理計算により導入アニオンの機能コアとしての役割も突き止め、それを設計指針として他のヒドリド系にも適用し、特性向上のための合理的な設計指針の獲得に成功した。

以上より、機能コア制御による新材料創製および飛躍的な特性向上に成功した。

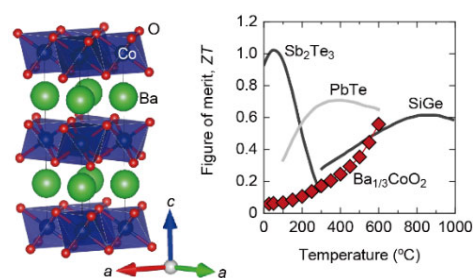


図 5 新熱電材料 Ba_{1/3}CoO₂ の構造と特性

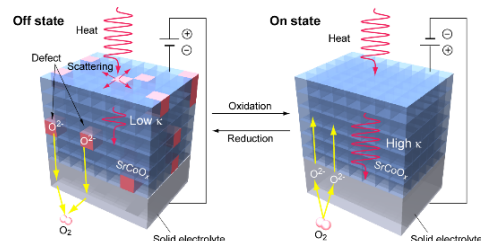


図 6 世界初の全固体熱トランジスタ

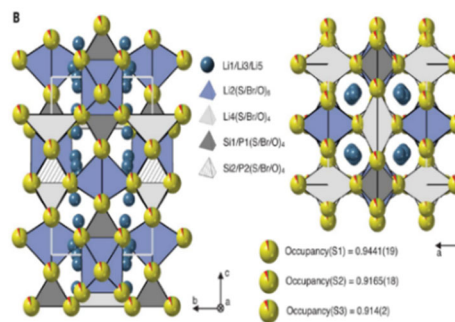


図 7 新規超イオン伝導体の結晶構造

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(すべて査読有、(研究代表者、研究分担者))

- [1] *Y. Ogura, A. Nakamura, T. Kameyama, Y. Kurokawa, E. Tochigi, N. Shibata, T. Torimoto, S. Hoshino, T. Yokoi, K. Matsunaga, “The effect of room-temperature plastic deformation in darkness on the photoluminescence properties of ZnS” *J. Am. Ceram. Soc.* **107**, 2040-2047 (2024).
- [2] *Y. Li, X. Fang, E. Tochigi, Y. Oshima, S. Hoshino, T. Tanaka, H. Oguri, S. Ogata, Y. Ikuhara, K. Matsunaga, A. Nakamura, “Shedding new light on the dislocation-mediated plasticity in wurtzite ZnO single crystals by photoindentation”, *J. Materi. Sci. Tech.*, **156**, 206-216 (2023).
- [3] V. P. Kumar, S. P., B. Zhang, S. Fujii, K. Yoshizawa, P. Boullay, S. L. Tonquesse, C. Prestipino, B. Raveau, P. Lemoine, A. Paeklar, N. Barrier, X. Zhou, M. Yoshiya, K. Suekuni, *E. Guilmeau, “Engineering transport properties in interconnected enargite-stannite type $\text{Cu}_{2+x}\text{Mn}_{1-x}\text{GeS}_4$ nanocomposites”, *Angew. Chem.Int. Ed.* **61**, e202210600 (2022).
- [4] *A. Nakamura, *X. Fang, A. Matsubara, E. Tochigi, Y. Oshima, T. Saito, T. Yokoi, Y. Ikuhara, K. Matsunaga, “Photoindentation: A new route to understanding dislocation behavior in light”, *Nano Lett.* **21**, 1962-1967 (2021).
- [5] *PY. Chen, *K. Shibata, K. Hagita, T. Miyata, *T. Mizoguchi, “Prediction of the Ground State Electronic Structure from Core-loss Spectra of Organic Molecules by Machine Learning”, *J. Phys. Chem. Lett.* **14**, 4858-4865 (2023).
- [6] *YS. Xie, K. Shibata, T. Mizoguchi, “A defect formation mechanism induced by structural reconstruction of a well-known silicon grain boundary”, *Acta Mater.* **250**, 118827 (2023).
- [7] H. Hayashi, A. Seko, *I. Tanaka, “Recommender system for discovery of inorganic compounds”, *npj Comput. Mater.* **8**, 217 (2022).
- [8] *K. Shibata, K. Kikumasa, S. Kiyohara, *T. Mizoguchi, “Simulated carbon K edge spectral database of organic molecules”, *Scientific Data* **9**, 214-1-11 (2022).
- [9] P. Zhong, *K. Toyoura, L. Jiang, L. Chen, S. A. Ismail, N. Hatada, *T. Norby, *D. Han, “Protonic Conduction in $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$ and $\text{La}_{2-x}\text{A}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ (A = Ca, Sr, Ba) Ruddlesden–Popper Type Oxides”, *Adv. Energy Mater.* **12**, 2200392 (2022).
- [10] *T. Seki, T. Futazuka, N. Morishige, R. Matsubara, Y. Ikuhara, *N. Shibata, “Incommensurate grain-boundary atomic structure”, *Nature Commun.* **14**, 7806 (2023).
- [11] C. Yang, *B. Feng, J. Wei, N. Shibata, *Y. Ikuhara, “Dopant-impurity interactions on grain boundary segregation in alumina”, *J. Mater. Sci. & Tech.* **181**, 58-62 (2023).
- [12] *K. Matsui, K. Hosoi, *B. Feng, H. Yoshida, *Y. Ikuhara, “Ultrahigh toughness zirconia ceramics”, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **120**, e2304498120 (2023).
- [13] S. Toyama, *T. Seki, Y. Kanitani, Y. Kudo, S. Tomiya, Y. Ikuhara, *N. Shibata, “Real-space observation of a two-dimensional electron gas at semiconductor heterointerfaces”, *Nature Nanotech.* **18**, 521-528 (2023).
- [14] T. Futazuka, *R. Ishikawa, N. Shibata, *Y. Ikuhara, “Grain boundary structural transformation induced by co-segregation of aliovalent dopants”, *Nature Commun.* **13**(1), 5299 (2022).
- [15] *E. Inami, K. Nishioka, and J. Kanasaki, “Atomic-scale view of the photoinduced structural transition to form sp^3 -like bonded order phase in graphite”, *Sci. Rep.* **13**, 21439 (2023).
- [16] Z. Diao, K. Ueda, L. Hou, H. Yamashita, O. Custance, *M. Abe, “Automatic Drift Compensation for Nanoscale Imaging Using Feature Point Matching”, *Appl. Phys. Lett.* **122** (12), 121601 (2023).
- [17] *D. Katsube, R. Shimizu, Y. Sugimoto, T. Hitosugi, M. Abe, “Identification of OH groups on $\text{SrTiO}_3(100)$ -(R13xR13)-R33.7° reconstructed surface by non-contact atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy”, *Appl. Phys. Lett.* **122** (7), 071602 (2023).
- [18] A. Tsuji, *H. Yamashita, O. Hisatomi, M. Abe, “Dimerization processes for light-regulated transcription factor Photozipper visualized by high-speed atomic force microscopy”, *Sci. Rep.* **12**, 12903 (2022).
- [19] *H. Yamamura, T. Hagiwara, Y. Hayashi, K. Osawa, H. Kato, T. Katsu, K. Masuda, A. Sumino, H. Yamashita, R. Jinno, M. Abe, A. Miyagawa, “Antibacterial Activity of Membrane-Permeabilizing Bactericidal Cyclodextrin Derivatives”, *ACS Omega* **6**, 47, 31831–31842 (2021).
- [20] *H. Yusa, M. Miyakawa, “High-pressure synthesis of corundum-type $\text{Ga}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$ and application of its fluorescence to the pressure scale”, *Inorg. Chem.*, (2024), in press.
- [21] Y. Umeda, Y. Nagai, N. Tomioka, T. Sekine, M. Miyakawa, T. Kobayashi, *H. Yusa, T. Okuchi, “Deformation microstructures in shock-compressed single crystal and powdered rutile”, *J. Mineral. Petrol. Sci.* **119**, 230706 (2024).
- [22] S. Asano, K. Niwa, K. V. Lawler, S. Kawaguchi-Imada, T. Sasaki, *M. Hasegawa, “High-Pressure Synthesis of a High-Pressure Phase of MnN Having NiAs-Type Structure”, *Inorg. Chem.* **62**, 20271-20278 (2023).
- [23] *H. Yusa, H. Fujihisa, “Dense structure of Yttrium Nitride as a post-rock-salt phase: High-pressure experiments and computations”, *Inorg. Chem.* **61**, 20906-20912 (2022).
- [24] *A. Tsurumaki-Fukuchi, T. Katase, H. Ohta, M. Arita, Y. Takahashi, “Direct Imaging of Ion Migration in Amorphous Oxide Electronic Synapses with Intrinsic Analog Switching Characteristics”, *ACS Appl.*

Mater. Interfaces **15**, 13, 16842–16852 (2023).

- [25] Q. Yang, H. J. Cho, Z. Bian, M. Yoshimura, J. Lee, H. Jeon, J. Lin, J. Wei, B. Feng, Y. Ikuhara, *H. Ohta, “Solid-State Electrochemical Thermal Transistors”, *Adv. Funct. Mater.* **33**, 2214939 (2023).
- [26] T. V. Vu, K. Saito, “Thermodynamic Unification of Optimal Transport: Thermodynamic Uncertainty Relation, Minimum Dissipation, and Thermodynamic Speed Limits”, *Phys. Rev. X* **13**, 011013 (2023).
- [27] A. Tao, T. Yao, Y. Jiang, L. Yang, X. Yan, H. Ohta, Y. Ikuhara, *C. Chen, H. Ye, *X. Ma, “Single-Dislocation Schottky Diodes”, *Nano Lett.* **21**, 5586-5592 (2021).
- [28] Y. Takashima, *Y. Zhang, J. Wei, B. Feng, Y. Ikuhara, H.J. Cho, *H. Ohta, “Layered cobalt oxide epitaxial films exhibiting thermoelectric $ZT = 0.11$ at room temperature”, *J. Mater. Chem. A* **9**, 274-280 (2021).
- [29] F. S. Ong, K. Nambu, K. Hosoi, K. Kawamura, H. Masuda, B. Feng, K. Matsui, Y. Ikuhara, *H. Yoshida, “Tetragonal phase stabilization and densification in AC flash-sintered 1.5 mol% yttria-stabilized zirconia polycrystals with high toughness”, *J. Eur. Ceram. Soc.* **44**, 1036-1043 (2024).
- [30] *T. Matsudaira, T. Ogawa, M. Takeuchi, J. Wei, B. Feng, N. Shibata, Y. Ikuhara, *S. Kitaoka, “Effect of oxygen potential gradient on mass transfer along grain boundary in alumina bicrystal”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **131**, 632-639 (2023)
- [31] M. Wada, *T. Matsudaira, N. Kawashima, M. Takeuchi, D. Yokoe, T. Ogawa, T. Kato, M. Takata, *S. Kitaoka, “Effect of Water Vapor on Mass Transfer in Polycrystalline $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ under Oxygen Potential Gradients at High Temperatures”, *Acta Mater.* **201**, 373-385 (2020).
- [32] A. Nakamoto, K. Nambu, H. Masuda, *H. Yoshida, “Chemical bonding and crystal structure in flash sintered Y_2O_3 under DC or AC field”, *J. Eur. Ceram. Soc.* **43**, 3516-3523 (2023).
- [33] *T. Matsudaira, T. Ogawa, M. Takeuchi, N. Shibata, Y. Ikuhara, *S. Kitaoka, “Effect of Oxygen Potential Gradient on Mass Transfer in Polycrystalline Alumina Film Doped with Trace Elements”, *Acta Mater.* **252**, 118927 (2023).
- [34] *K. Watanabe, Y. Horisawa, M. Yoshimoto, K. Tamura, K. Suzuki, R. Kanno, *M. Hirayama, “Stable Photoelectrochemical Reactions at Solid/Solid Interfaces toward Solar Energy Conversion and Storage”, *Nano Lett.* **24**, 1916-1922 (2024).
- [35] Y. Lee, S. Song, H. Kim, K. Nomoto, H. Kim, X. Sun, S. Hori, K. Suzuki, N. Matsui, M. Hirayama, T. Mizoguchi, T. Saito, T. Kamiyama, *R. Kanno, “A lithium superionic conductor for millimeter-thick battery electrode”, *Science* **381**, 50-53 (2023).
- [36] N. Matsui, T. Seki, K. Suzuki, M. Hirayama, *R. Kanno, “Accelerated Exploration of Fast Fluoride-Ion Conductors Based on Compositional Descriptors”, *ACS Appl. Ener. Mater.* **6**, 11663–11671 (2023).
- [37] S. Song, S. Hori, Y. Li, K. Suzuki, N. Matsui, M. Hirayama, T. Saito, T. Kamiyama, *R. Kanno, “Material Search for a $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ -Type Solid Electrolyte in the Li–P–S–X (X = Br, I) System via Clarification of the Composition–Structure–Property Relationships”, *Chem. Mater.* **34**, 8237-8247 (2022).

【学会発表】

- [1] (基調講演) Katsuyuki Matsunaga: “Electronic and Atomic Structures of Crystal Defect Cores in Advanced Materials”, The 3rd Materials Research Meeting (MRM 2023) (2023.12.12, Kyoto).
- [2] (基調講演) Katsuyuki Matsunaga: “Electronic and Atomic Structures of Glide Dislocations in Inorganic Semiconductors Relevant to Their Light-illumination Dependent Mechanical Behavior”, The 11th International Conference Pacific Rim on Advanced Materials & Processing (PRICM11) (2023.11.20, Korea).
- [3] (基調講演) Katsuyuki Matsunaga: “Electronic Structures of Dislocation Cores in Zinc Sulfide Showing Extraordinary Plastic Deformation”, The 2nd Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (GFMAT-2) (2019.7.26, Toronto, Canada).
- [4] (基調講演) Teruyasu Mizoguchi: “Bridging Atomic-Resolution Experiment and Computation Using Machine Learning”, Materials Research Meeting (MRM) (2019.12.11, Yokohama).
- [5] (基調講演) Naoya Shibata: “Development and Application of Magnetic-Field-Free Atomic-Resolution Scanning Transmission Electron Microscopy”, The 2nd Materials Research Meeting (MRM 2021) (2021.12.15, Yokohama).
- [6] (招待講演) Hiromichi Ohta: “Single Crystalline Film Growth of Layer Structured Oxides and Their Phonon Transports”, 2019 Materials Research Society Fall Meeting (2019.12.1, Boston, USA).
- [7] (基調講演) Satoshi Kitaoka: “The Effects of Yttrium Segregated at Grain Boundaries on Mass Transfer in Polycrystalline Alumina under Oxygen Potential Gradients at High Temperatures”, International Symposium on High-temperature Oxidation and Corrosion 2022 (ISHOC-2022) (2022.10.16, Takamatsu).
- [8] (基調講演) Masaaki Hirayama: “Electrochemical Interface Phenomena: Toward the Development of Next-generation Lithium-ion Batteries”, The 2nd Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (GFMAT-2) (2019.7.26, Toronto, Canada).

ホームページ等

[1] 領域ホームページ <https://www.core.mp.pse.nagoya-u.ac.jp/>

[2] YouTube チャンネル <https://www.youtube.com/channel/UC0Uz0GvdjCIyaFVF5s5C3NA>