

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 9 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02800

研究課題名(和文) 酸化物/窒化物ヘテロ界面を持つバルクナノコンポジット熱電変換材料の開発

研究課題名(英文) Bulk nanocomposite thermoelectric materials with oxide/nitride hetero-interfaces

研究代表者

大瀧 倫卓 (Ohtaki, Michitaka)

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：50223847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：酸化物系熱電変換材料について、高温でもナノ構造を安定に保持するため、高い導電性を有するTiNなどの金属窒化物を拡散防止材料として組み合わせたナノコンポジット化を行い、ナノ構造化によるフォノン散乱の増強によって格子熱伝導率を低減するとともに、良導電性窒化物による導電性パスの形成を指向し、その微細構造と熱電性能の関係を調べた。酸化物熱電変換材料としてチタン酸ストロンチウムSrTiO<sub>3</sub>(STO)、窒化物として窒化チタンTiNを用い、STO相へのLaドーブとTiNの体積分率の効果について検討した。TiNの複合化による格子熱伝導率の低減と伝導パスの形成による導電性の向上が両立することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸化物熱電変換材料と良導電性窒化物のナノ複合化によって、格子熱伝導率を低減しつつ電氣的熱電性能を向上できることを明らかにした。これによって、高温でもナノ構造を長期間維持できる可能性が拓かれた。TiNの体積分率やSrTiO<sub>3</sub>相へのLaドーブ量を最適化することで、更なる熱電性能の向上が期待できる。また、本研究で用いた窒化物被覆手法は、被覆物質と反応せず、NH<sub>3</sub>ガスを用いた窒化処理に耐えられる材料であれば、他の酸化物材料にも応用することが容易であるため、材料の組み合わせによって、さらに有望な熱電変換材料が見出される可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Oxide/nitride bulk nanocomposites were synthesized in order to retain nanostructures by preventing grain growth via interdiffusion of the materials at high temperatures. Metal nitrides with high electrical conductivity were employed as an anti-diffusion material to reduce lattice thermal conductivity by enhancing phonon scattering, and the relationship between the microstructure and thermoelectric performance was investigated. We used strontium titanate SrTiO<sub>3</sub> (STO) as the oxide thermoelectric material and titanium nitride TiN as the nitride, and investigated the effects of La doping into the STO phase and the volume fraction of TiN. We found that the reduction of the lattice thermal conductivity and the improvement of the electrical conductivity can be simultaneously achieved by compositing with TiN.

研究分野：無機材料化学

キーワード：酸化物熱電変換材料 ナノコンポジット 金属窒化物 ヘテロ界面 拡散防止材 チタン酸ストロンチウム 窒化チタン フォノン散乱

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

現代社会に供給される一次エネルギーの過半（日本では2015年時点で52%程度）は、有効利用されないまま廃熱として環境に捨てられている。廃熱エネルギーの最大の排出源は、全廃熱の47%を排出している発電分野であり、第2位の運輸分野（自動車など）の24%を大きく引き離している。今後、脱炭素の潮流によって世界的に太陽光や風力の導入が進み、石炭火力は削減・廃止の傾向にあるが、天然ガス（LNG）火力やアンモニア混燃等への転換が進むため、バイオ由来燃料を含む火力発電の重要性は減らないと考えられている。

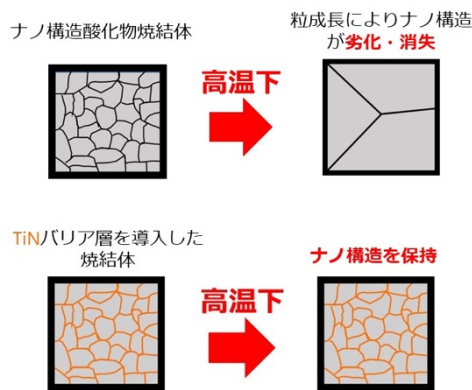
LNG火力やバイオマス、さらには原子力などの熱発電サイクルでは、熱源の温度は1000℃を大きく超えるが、被加熱対象であるボイラーなど熱サイクルの高温端温度はこれより相当低く、蒸気温度は600℃を超えた程度である。最近、温度差を電力に直接変換する熱電変換を熱源と加熱対象の間にトッピングサイクルとして導入するだけで、発電効率が6%程度向上するという推算が報告された。発電分野における6%の効率向上は驚異的であり、この向上分を発電量に換算すると我が国の現時点での太陽光による総発電量の約20倍に相当する。しかし、これを実現するためには、(1)800~1000℃以上の高温に耐え、(2)大規模導入が可能な安価で安全な熱電変換材料が必要不可欠である。条件(1)は、分解温度が低い既存のBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>系やPbTe系、一連の硫化物系など、重元素系やカルコゲナイド系熱電材料では到底実現し得ない。有望な材料としては酸化物やホウ化物、炭化物などがあるが、原料・製造コスト等を考慮すべき条件(2)も同時に満たすためには、酸化物が最適である。

我々は、1991年以来30年近くに及ぶ酸化物熱電変換材料研究を通じて、熱電変換における酸化物の本質的な長所と短所を明らかにし、短所の克服方針を提案し実証してきた。酸化物熱電変換材料に共通する短所は、酸素という軽い構成元素に由来する高い格子熱伝導率である。格子熱伝導率を低減する手法としては、結晶粒の微細化やナノ粒子の析出に代表されるナノ構造化が、近年の熱電材料に共通する性能向上手法として定着している。しかし、ナノ構造は一般的には熱力学的に不安定であり、長期にわたる高温環境下では、たとえ酸化物であっても粒成長や構造の粗大化が避けられない。

熱電変換材料は、急峻な温度勾配下で使用されることが前提の材料でありながら、本質的に熱力学的不安定性を有するナノ構造熱電材料の高温耐久性の検討や耐熱材料化の試みはほぼ皆無といってよい。熱力学的に不安定なナノサイズの微細構造を800℃以上の高温で維持するためには、物質移動を速度論的に阻害する拡散防止材料が有効と考えられる。ナノ構造を構成する酸化物粒子間にTiNなどの導電性窒化物を拡散防止層として導入することにより、高温条件下でのナノ構造消失およびこれによる熱電性能低下を防止できると期待されるが、そのような試みは過去に例がない。

### 2. 研究の目的

本来的に耐熱性の高い物質群である酸化物系材料について、高温でもナノ構造を安定に保持するため、高い導電性を有するTiNなどの金属窒化物を拡散防止材料として組み合わせたナノコンポジット化を行い、ナノ構造化によるフォノン散乱の増強によって格子熱伝導率を低減するとともに、良導電性窒化物により導電性パスを形成し、これらによって得られる優れた熱電変換性能を長期間保持できる手法を開発することが目的である。TiNは高硬度かつ耐熱性に優れるだけでなく、良導体であるため、粒界を被覆する上で生じる酸化物の熱電性能の低下を最小限に抑え、かつ熱的安定性を向上させることができると考えられる。

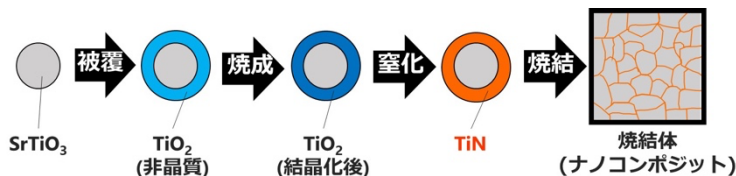


### 3. 研究の方法

酸化物に限らず、ナノ粒子表面に窒化物を被覆させた報告例はほとんどないため、ZnOやSrTiO<sub>3</sub>(STO)をはじめとする酸化物ナノ粒子の表面をTiNなどの窒化物シェルで覆った酸化物@窒化物コアシェル型ナノ粒子の合成方法を確立した。まず、液相プロセスであるゾルゲル法を用いてTi(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> (以下TBOT)の加水分解反応により酸化物ナノ粒子上にTiO<sub>2</sub>シェルを被覆し、得られたコアシェル構造ナノ粒子を400℃程度でアニーリングし、シェルを結晶化させた後に、NH<sub>3</sub>ガスによりTiO<sub>2</sub>シェルのみを窒化させることで、酸化物/窒化物コアシェル構造ナノ粒子を合成した。

得られたSTO/TiNコアシェル構造ナノ粒子の焼結により、酸化物ナノ粒子間を窒化物の拡散防止層で隔てたナノコンポジット構造の形成を検討した。TiNの融点は約2950℃と高温である

ため、窒化物の焼結実績が豊富な放電プラズマ焼結 (SPS) およびホットプレス焼結 (HP) を採用し、ナノ構造を保持した短時間焼結を行った。



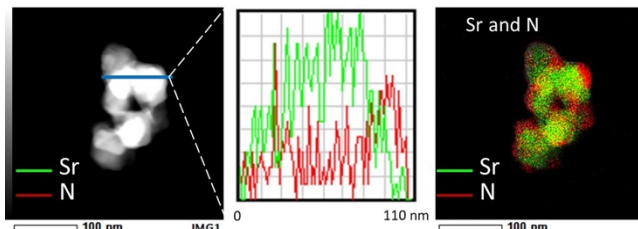
また、研究の進行にともなって、良伝導性窒化物の金属的電気伝導の寄与とフォノン散乱による格子熱伝導率低減の両立が明らかになったため、同様の導電性パスを形成しうる手法として、金属酸化物の還元による金属ナノ粒子の溶離析出反応を利用した金属ナノ粒子/酸化物ナノコンポジット試料の合成と評価も行った。

#### 4. 研究成果

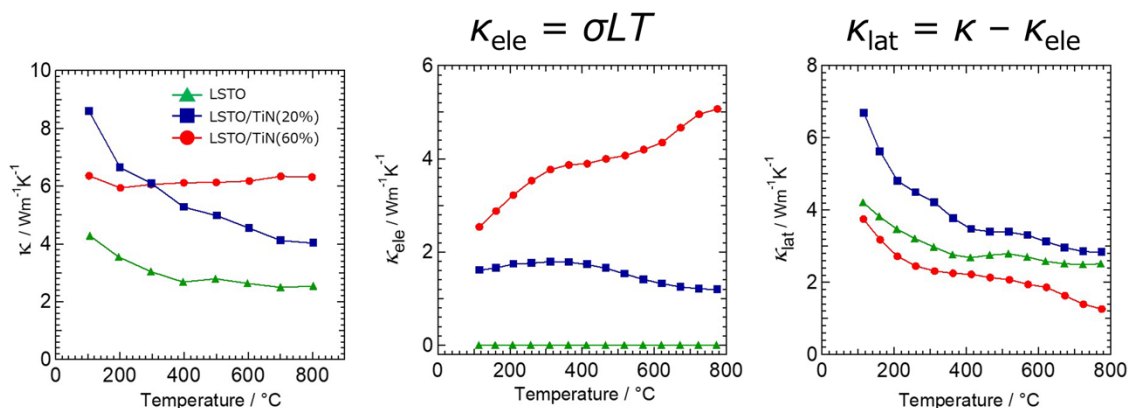
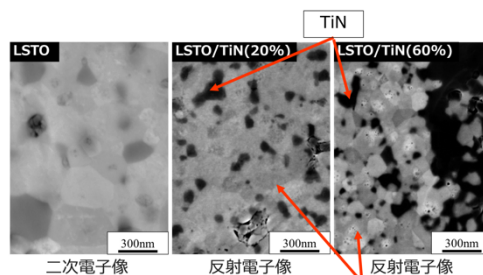
##### (1) SrTiO<sub>3</sub>/TiN ナノコンポジットの合成と熱電性能の向上

得られた STO/TiN コアシェル構造ナノ粒子を焼結することによって作製した STO/TiN 焼結体(ナノコンポジット)のうち、特に TiN の体積分率が 74% の試料では、STO のみの焼結体と比較して格子熱伝導率が室温で半分程度まで減少し、熱電変換材料としての有望性が示された。しかし、TiN の体積分率が高いと導電率が増加するもののゼーベック係数の絶対値が低下することが懸念された。他方、TiN の体積分率が低い場合には焼結体中の STO ナノ粒子の凝集及び粒成長により格子熱伝導率の低減には至らなかった。

STO/TiN ナノコンポジットの熱電性能をさらに向上させるには、TiN の体積分率を低く保ちながら効果的に格子熱伝導率を低減させることが必要である。液相プロセスにより STO ナノ粒子を TiO<sub>2</sub> で被覆する段階で被覆量の制御を行い、より薄く均一に TiO<sub>2</sub> を被覆するために、被覆条件の再検討を行った STO/TiN ナノ粒子の STEM 像、EDS ライン分析と元素マッピング像を右図に示す。20 nm~50 nm の TiN に被覆された STO ナノ粒子が確認された。

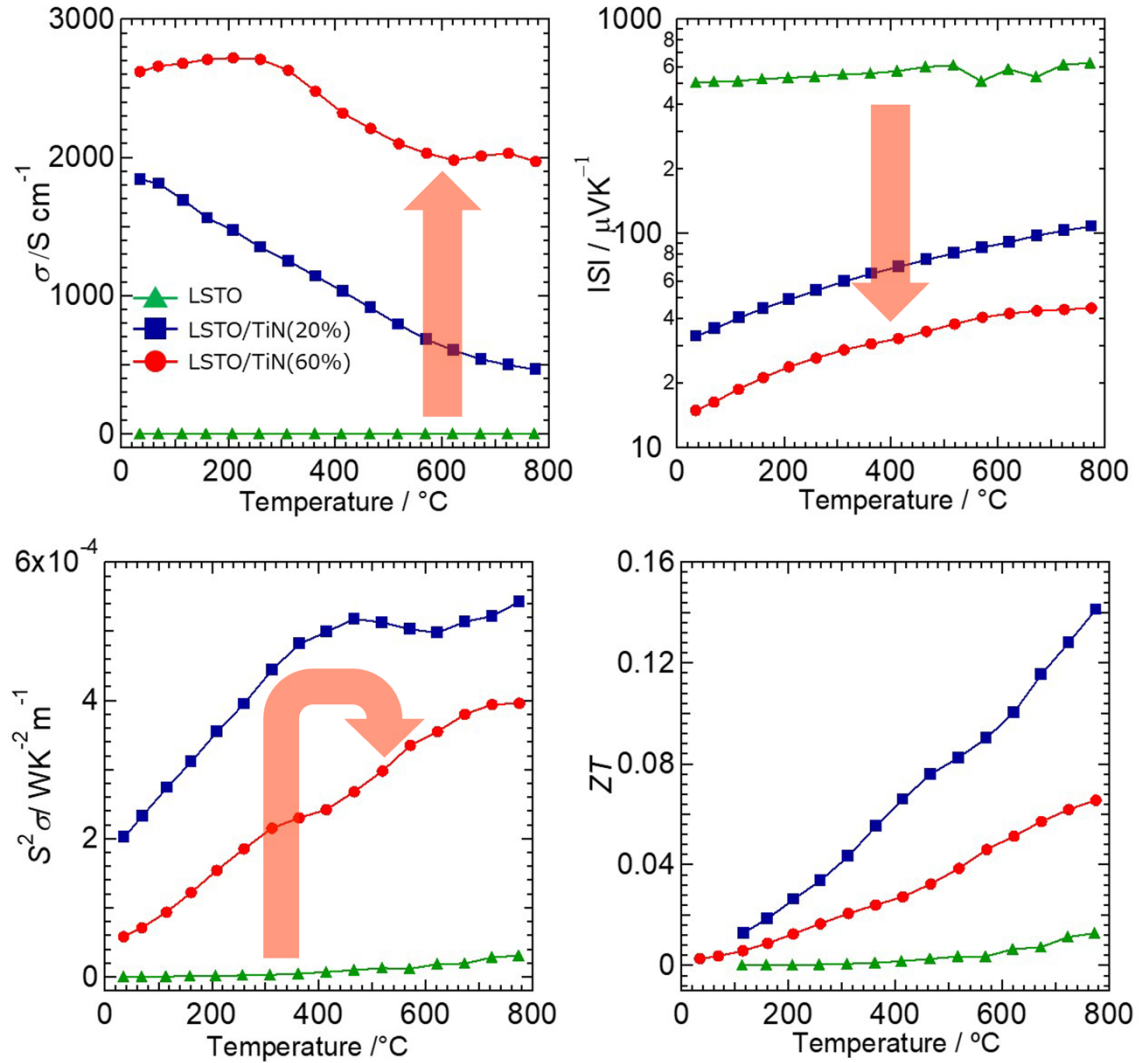


コアシェルナノ粒子のコアを SrTiO<sub>3</sub> の A サイトに La をドーブした La<sub>0.2</sub>Sr<sub>0.8</sub>TiO<sub>3</sub> (LSTO) に変更することで、導電率の向上を目指した。また、TiO<sub>2</sub> 被覆を TBOT 滴下量の操作で行うことでさらに TiN の体積分率を減少させ、熱電能の向上を検討した。得られた LSTO および各 LSTO/TiN 焼結体試料については LSTO と TiN 以外に不純物は観察されず、滴下した TBOT 量に依存して TiN の XRD 回折強度は増大した。しかし、右図に示す SEM 像では、灰色部分の LSTO と黒色部分の TiN が混在しており、TiN は LSTO の結晶粒界をくまなく覆っているという状況ではなかった。一方で、この試料における LSTO の結晶粒径は 100~200 nm 程度と小さく、格子熱伝導率の低減が期待される。他方で、TBOT20%試料では LSTO の結晶粒径が増大しており、LSTO 単独の焼結体の結晶粒径は 300~400 nm とさらに大きいことから、TiN とのナノコンポジット化は LSTO の粒成長を抑制する効果があると考えられる。そこで、測定した熱伝導率  $\kappa$  と導電率  $\sigma$  から、Wiedemann-Franz 則 ( $\kappa_{\text{ele}} = L\sigma T$ ) を用いて格子熱伝導率  $\kappa_{\text{lat}} = \kappa - \kappa_{\text{ele}}$  を算出した。全熱伝導率  $\kappa$  は LSTO 単相試料が最も低いが、TiN を含む試料は電子熱伝導率  $\kappa_{\text{ele}}$  の寄与が大きいいため、この寄与を差し引いた  $\kappa_{\text{lat}}$  は TiN60%試料で LSTO 単相試料に比べ全温度域で下回っており、LSTO の粒成長の抑制と TiN の複合化によってフォノン散乱が増強されたことが強く示唆される。



各試料の熱電特性を下図に示す。金属的な TiN の量が増えるにつれて導電率 $\sigma$ は増大し、負のゼーベック係数 $S$ の絶対値は減少した。このため LSTO/TiN の出力因子  $S^2\sigma$  はいったん増大してから減少したが、LSTO 単相と比較すると顕著に大きく、特に TiN20%試料では LSTO 単相より約 17 倍増大した。この出力因子の増大を反映して、TiN20%試料の無次元性能指数  $ZT$  は LSTO 単相に比べ約 8 倍と大きく向上した。TiN の量を制御し、熱電能の低下を抑制したことが大きな要因であると考えられる。

結果として、LSTO/TiN ナノコンポジット試料の熱電性能は LSTO 単相に比較して全温度領域で顕著に向上し、最大の  $ZT$  としては TiN20%試料の 775°C における 0.14 が得られた。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ahrong JEONG, Koichiro SUEKUNI, Michitaka OHTAKI, Byung Koog JANG	4. 巻 47
2. 論文標題 Thermoelectric Properties of In- and Ga-doped Spark Plasma Sintered ZnO Ceramics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 23927-23934
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ceramint.2021.05.101	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 Nhat Quang Minh TRAN, Michitaka OHTAKI, Koichiro SUEKUNI	4. 巻 8
2. 論文標題 Rapid Synthesis of W18O49 via Reactive Spark Plasma Sintering with Controlled Anisotropic Thermoelectric Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Evergreen	6. 最初と最後の頁 344-350
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5109/4480715	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 Rauf KHAN, Michitaka OHTAKI, Satoshi HATA, Koji MIYAZAKI, Reiji HATTORI	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermal Conductivity of Nano-Crystallized Indium-Gallium-Zinc Oxide Thin Films Determined by Differential Three-Omega Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1547
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano11061547	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 Wojciech KLICH, Miki INADA, Hongy GAO, Hikaru SAITO, Michitaka OHTAKI	4. 巻 32
2. 論文標題 Microwave Synthesis of ZnO Microcrystals with Novel Asymmetric Morphology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 4356-4363
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2021.09.038	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 Rauf KHAN, Muhamad Affiq Bin MISRAN, Michitaka OHTAKI, Jun Tae SONG, Tatsumi ISHIHARA, Reiji HATTORI	4. 巻 9
2. 論文標題 Back-Channel Etched In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistor Utilizing Selective Wet-Etching of Copper Source and Drain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 2193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr9122193	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 Nhat Quang Minh TRAN, Michitaka OHTAKI, Koichiro SUEKUNI	4. 巻 42
2. 論文標題 High-Temperature Thermoelectric Performance of (W1-xTix)18O49	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 1486-1492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2021.12.014	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 Ahrong JEONG, Michitaka OHTAKI, Byung-Koog JANG	4. 巻 48
2. 論文標題 Thermoelectric Performance of In and Ga Single/dual-doped ZnO Ceramics Fabricated by Spark Plasma Sintering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 14414-14423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2022.01.334	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 Anh Tuan Thanh PHAM, Tuyen Luu ANH, Ngoc Kim PHAM, Hanh Kieu Thi TA, Truong Huu NGUYEN, Dung Van HOANG, Hoa Thi LAI, Vinh Cao TRAN, Jong-Ho PARK, Jae-Ki LEE, Sungkyun PARK, Michitaka OHTAKI, Su-Dong PARK, Hung Nguyen QUANG, Thang Bach PHAN	4. 巻 46
2. 論文標題 Multi-scale Defects in ZnO Thermoelectric Ceramic Materials Co-doped with In and Ga	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 10748-10758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2020.01.084	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 Dung Van HOANG, Anh Tuan Thanh PHAM, Hanh Kieu Thi TA, Truong Huu NGUYEN, Ngoc Kim PHAM, Lai Thi HOA, Vinh Cao TRAN, Michitaka OHTAKI, Quang Minh Nhat TRAN, Jong-Ho PARK, Jae-Ki LEE, Su-Dong PARK, Tae-Seong JU, Hongjun PARK, Sungkyun PARK, Thang Bach PHAN	4. 巻 844
2. 論文標題 Effects of Multi-scale Defects on the Thermoelectric Properties of Delafossite CuCr1-xMgxO2 Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 156119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.156119	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 Shinji HIRATA, Michitaka OHTAKI, Kosuke WATANABE	4. 巻 46
2. 論文標題 Highly Improved Thermoelectric Performance of Nb-doped SrTiO3 due to Significant Suppression of Phonon Thermal Conduction by Synergetic Effects of Pores and Metallic Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 25964-25969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2020.07.085	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 Sampad GHOSH, Sivasankaran HARISH, Michitaka OHTAKI, Bidyut Baran SAHA	4. 巻 18
2. 論文標題 Thermoelectric Figure of Merit Enhancement in Cement Composites with Graphene and Transition Metal Oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Today Energy	6. 最初と最後の頁 100492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtener.2020.100492	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 Wojciech KLICH, Michitaka OHTAKI	4. 巻 47
2. 論文標題 Thermoelectric Properties of Mo-doped Bulk In2O3 and Prediction of its Maximum ZT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 18116-18121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2021.03.129	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 Ghosh Sampad, Harish Sivasankaran, Ohtaki Michitaka, Saha Bidyut Baran	4. 巻 198
2. 論文標題 Enhanced figure of merit of cement composites with graphene and ZnO nano-inclusions for efficient energy harvesting in buildings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 117396 ~ 117396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2020.117396	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 Shinji HIRATA and Michitaka OHTAKI	4. 巻 7
2. 論文標題 Simultaneous Enhancement in the Electrical Conductivity and Reduction in the Lattice Thermal Conductivity Leading to Enhanced Thermoelectric ZT Realized by Incorporation of Metallic Nanoparticles into Oxide Matrix	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Evergreen	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5109/2740934	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19件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 大瀧倫卓
2. 発表標題 酸化物熱電変換材料の開発戦略と最新状況
3. 学会等名 日本セラミックス協会九州支部春季特別講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Anomalous Reduction of Lattice Thermal Conductivity in ZnO-based Thermoelectric Oxides with Extended Solid Solubility Limit on Binary Doping
3. 学会等名 E-MRS 2019 Spring Meeting / IUMRS-ICAM2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Nhat Q. M. Tran, Koichiro Suekuni, Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Nano-structured ReO <sub>3</sub> -type Building Blocks for Reduced Lattice Thermal Conductivity in High Temperature WO <sub>2</sub> .70 Penta-columnar Phase
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics & the 4th Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sasikan Maneeyom, Koichiro Suekuni, Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Thermoelectric properties of Ru-doped $\text{Ca}_{2}\text{CoSb}_{2}\text{O}_{14}$ -pyrochlore CsW <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics & the 4th Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有吉真、末國晃一郎、大瀧倫卓
2. 発表標題 ZnO/GaN複合焼結体の熱電特性
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎青波、渡邊厚介、末國晃一郎、大瀧倫卓
2. 発表標題 SrTiO <sub>3</sub> 系酸化物/TiNコアシェル構造ナノ粒子の合成と構造制御
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Ultra-low Lattice Thermal Conductivity of ZnO-based Thermoelectric Oxides
3. 学会等名 XXVIII International Materials Research Congress (IMRC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 High Thermoelectric Performance of Reduced Nb-doped SrTiO <sub>3</sub> Containing Exsolved Ni nanoparticles
3. 学会等名 17th European Conference on Thermoelectrics (ECT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wojciech Klich, Koichiro Suekuni, Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Thermoelectric Performance of Mo-doped bulk In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nhat Quang Minh Tran, Koichiro Suekuni, Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Anisotropic Thermoelectric Properties of W <sub>18</sub> O <sub>49</sub> Prepared by SPS
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sasikan Maneeyom, Koichiro Suekuni, Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Synthesis and Thermoelectric Properties of $\text{-pyrochlore Oxide CsW}_{2-x}\text{Ru}_x\text{O}_6$
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Biomimetic Self-assembly Synthesis of Highly Regulated Single-nm Thick Layered Oxides and their Physicochemical Properties
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki
2. 発表標題 Anomalous Extension of the Solubility Limit in ZnO Leading to an Extremely Low Thermal Conductivity
3. 学会等名 2nd International Workshop on Materials and Applications for Next-generation Utilization of Thermoelectric Energy Conversion (MANUTEC-2) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有吉真、末國晃一郎、大瀧倫卓
2. 発表標題 ZnOとGaNを複合した焼結体の合成と熱電特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会九州支部秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎青波、末國晃一郎、大瀧倫卓、渡邊厚介
2. 発表標題 ゾルゲル法によるSrTiO <sub>3</sub> /TiNコアシェル構造ナノ粒子の合成と構造制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会九州支部秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大瀧倫卓、平田慎治、末國晃一郎
2. 発表標題 還元処理によりNiナノ粒子を溶離析出したSrTiO <sub>3</sub> セラミックスの熱電性能
3. 学会等名 日本セラミックス協会九州支部秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michitaka Ohtaki, Shinji Hirata, Koichiro Suekuni
2. 発表標題 High Thermoelectric Performance of Porous Nb- and Ni-doped SrTiO <sub>3</sub> Containing Highly Dispersed Exsolved Ni Nanoparticles
3. 学会等名 The 36th International Japan-Korea Seminar on Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大瀧倫卓
2. 発表標題 組成とナノ構造の制御による酸化物サーモエレクトロニクスの開拓 —バルク酸化物における熱・電子輸送の実験的探究と新規分野開拓—
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大瀧倫卓
2. 発表標題 酸化物熱電変換材料の挑戦と展望
3. 学会等名 賢材研究会2019年度賢材シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020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
研究協力者	長崎 青波  (Nagasaki Seiha)	九州大学・総合理工学府  (17102)	
研究協力者	平田 信治  (Hirata Shinji)	九州大学・総合理工学府  (17102)	

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