

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02749

研究課題名(和文) 広範囲実用化に資するナノ構造熱電材料の開発

研究課題名(英文) Development of viable nanostructured thermoelectric materials

研究代表者

森 孝雄 (MORI, Takao)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・グループリーダー

研究者番号：90354430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、熱電材料の実用化を阻んできた2つのパラドックスに対して、独自の切り口と材料で高性能化原理の突破口を開くことを目的にした。高電気伝導・低熱伝導の要求に対して、以前のn型スカッテルダイトの単発の結果に対して、p型のスカッテルダイト材料、また、異なる系にも、ナノマイクロ空孔による大きな熱電高性能化を一般的に活用できることを証明した。本研究により、シーズを電高性能化原理に高度化することに成功した。一方で、高ゼーベック係数・高電気伝導の要求に対して、コンポジット化によって、MgTi₂O₅などの複数の材料系において、大幅な熱電高性能化が得られ、今後のコンポジット熱電材料の開発指針が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人類が使用する石油・石炭・ガスなどの1次エネルギーの約7割は未利用の廃熱として捨てられており、この一部でも電気エネルギーとして回収できれば、省エネ・省CO₂社会の実現へ大きく前進することができる。ゼーベック効果によって廃熱を効率的に有用な電気に変換し得る熱電材料の開発は社会に大きな恩恵を与え得るが、相反する物理量を含んでいるために高性能化は容易ではない。本研究では、熱電材料の実用化を阻んできた2つのパラドックスに対して、ナノマイクロ空孔およびコンポジット化が複数の材料系に対して熱電高性能化に普遍的にそれぞれ有効であることを明らかにして、熱電高性能化指針を構築することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This research project dealt with utilizing original approaches to try to overcome the two paradoxical requirements for high thermoelectric performance. Regarding the requirement for high electrical conductivity and low thermal conductivity, there was the single instance obtained before for n-type skutterudite, but we have managed to expand it to a more universal performance enhancement principle, by successfully demonstrating the effectiveness of forming nanomicropores for p-type skutterudite and other material types. On the other hand, for the large Seebeck coefficient and high electrical conductivity requirement, we have shown by forming composites, large thermoelectric enhancements for various materials like MgTi₂O₅ could be obtained. Thereby, this research resulted in deeper understanding on the strategy to utilize composites for thermoelectric enhancement.

研究分野：無機材料科学

キーワード：熱電材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人類が使用する石油・石炭・ガスなどの1次エネルギーの約7割は未利用の廃熱として捨てられており、この一部でも電気エネルギーとして回収できれば、省エネ・省CO₂社会の実現へ大きく前進することができる。ゼーベック効果によって廃熱を効率的に有用な電気に変換し得る熱電材料の開発は社会に大きな恩恵を与え得る。しかし、熱電材料の性能は、いわゆる性能指数、 $ZT = S^2\sigma/\kappa$ (S:ゼーベック係数、 σ :電気伝導度、 κ :熱伝導度)が一つの良い指標であるが、相反する物理量 (σ 対 κ 、S対 σ)を含んでいるために高性能化は容易ではない。

国内・国外の研究動向としては、前者の高電気伝導・低熱伝導の要求に対しては、粒のナノサイズ化などのナノ構造制御で、フォノンの選択散乱が実現して高性能化につながる、一定の成功が収められて来た。しかし、大きな弱点として、使用する高温域で、ナノ粒の成長などにより性能が劣化してしまう問題があった。これに対して、申請者は、スクッテルダイト材料に意図的に第2相を析出させアニールで取り除くことで材料に適度なナノマイクロ空孔を生成させて、その結果、これまで、複数の希土類元素のラトリング+通常ナノ構造制御(熱印可で性能が劣化していく)で出していた世界記録的な性能指数に匹敵する $ZT \sim 1.6$ (ある単一試料で最大 $ZT \sim 1.8$)を熱印可に安定で希土類フリーのn型CoSb₃系材料で実現した(nano tech大賞2016:プロジェクト賞、本プロジェクト期間中に論文最終版がアクセプト、Nano Energy, 31, 152 (2017))。

一方で、後者の高ゼーベック係数・高電気伝導の要求に対しては、比較的高ゼーベック係数・高電気伝導を実現した系の解析から、結果論的なband engineeringが提唱されているが、所望の熱電材料にband engineeringを施して、高性能化を実際に実現したという例もあまり聞かない。そうした中で、申請者は実験事実として、ホウ化物系に、遷移金属ドーピングをして、熱印可プロセスを加えることで、電気伝導率を2桁、ゼーベック係数の絶対値を ~ 2 倍増強することに成功した。絶縁体的な熱電材料の母体と、遷移金属のナノネットワークの、ナノコンポジットが形成されていることが確認されたが(Scripta Mater., 111, 44-48 (2016))、詳細な効果の増強機構はまだ不明である。本複合効果の解明と、一般の熱電材料への活用が期待される性質のものであることより、熱電材料研究分野は大きく飛躍することが期待される。

2. 研究の目的

上記の空孔ナノマイクロ構造による高性能化は、n型のスクッテルダイトCoSb₃系材料の一例に活用しただけで(具体的にはCoSb_{3-x-y}Si_xTe_y)、p型のスクッテルダイト材料にも一般的に活用できるかが、最大の関心事であり、本研究で高性能化原理の一般性を解明する。その理由として、待望の実用化には、pとnの両対の材料が必要で、従来中高温のチャンピオン材料であるスクッテルダイト材料においては、p型の性能がn型の性能に劣っており、p型材料を高性能化できる方法が特に長く求められていた。また、スクッテルダイト材料に限らず、他の系統の熱電材料に活用できるか、本研究で高性能化原理の一般性を解明する。

ナノコンポジットにおける、電気伝導率とゼーベック係数の同時大幅増強のメカニズムの解明を進める。まだ数例しか得られていないが、実験例を増やして、解明を進める。

3. 研究の方法

具体的に以下のような手段を進める。本プロでは、背景で前述のn型のシーズ成果に対して、p型材料で同様の空孔生成手法で高性能化が実現できるかをまず調べることから始める。ターゲット材料としては、まず、典型的なp型スクッテルダイトのFe_{1-x}Co_xSb₃系で着手する。空孔を生成させるために有効な第二相の選定、合成条件を制御しながら、熱電物性との相関を解明し、高性能化を目指す。また、本高性能化の新規な手法がスクッテルダイトと異なる他の材料系にも同様に有効かを解明するために、他材料の合成、空孔制御の実験を行い、解明する。

一方で、ナノコンポジットにおける、増強機構に関してまだ数例しか得られていないので、実験例を増やして、解明を進める。具体的には、本手掛かりはボロンカーバイドのn型カウンターパートと期待される $\text{YB}_{22}\text{C}_2\text{N}$ において得られたものであるが、他の有望な熱電材料ホウ化物系の SmB_{66} (J. Mater., 1, 196-204 (2015))などに関してもこの方法で高性能化機構の解明を進める。

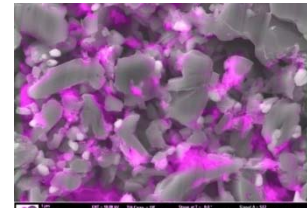


図1. ナノコンポジット例
(紫: V分布)

4. 研究成果

i) 熱印可に安定な空孔ナノ構造生成プロセスの熱電高性能化原理としての解明と開発
p型スキテルダイトの $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sb}_3$ 系において、下図のように、空孔を生成制御することで、ほぼ理論密度(99%)の通常合成試料に比べ、ゼーベック係数は変化しないで、電気抵抗の少しの増大(図2)に対して、熱伝導率の方は大幅に低減させることができた(図3)。それにより、総合的な熱電性能を60%増強することに成功した(図4)。本成果は現在論文にまとめ中である。

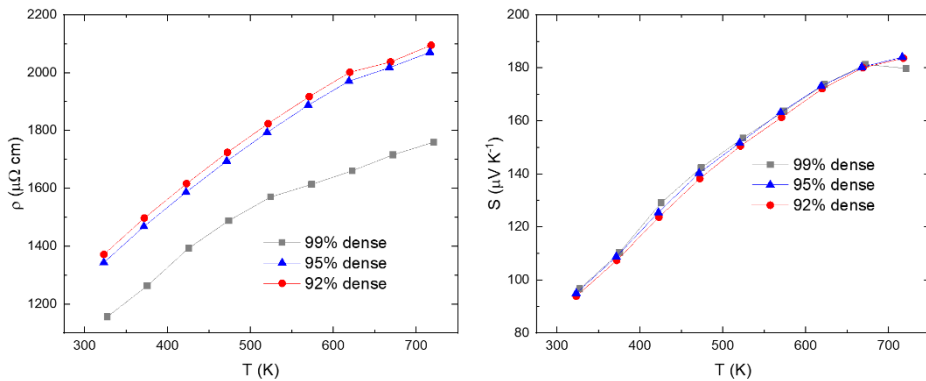


図2. 空孔を生成した $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sb}_3$ 系化合物の電気抵抗率(左)、ゼーベック係数(右)。

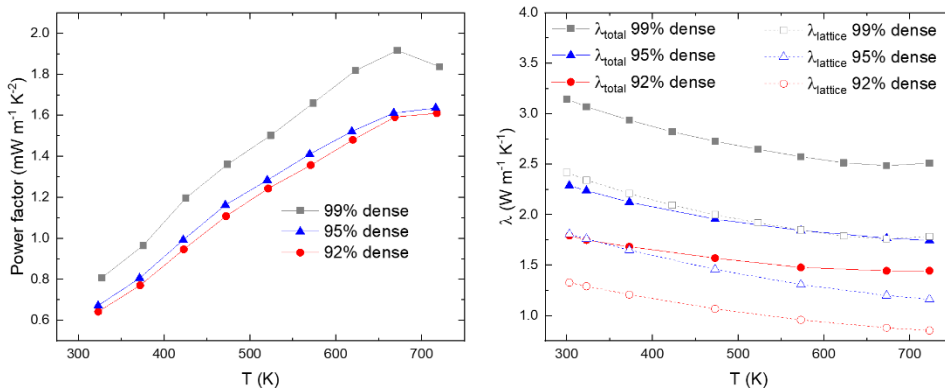


図3. 空孔を生成した $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sb}_3$ 系化合物の出力因子(左)、熱伝導率(右)。

空孔の合計体積率は4%、7%程度で、熱印可に関しても安定なナノマイクロ構造であり、熱電性能が熱サイクリングで劣化しないことも確認した。

また、同様に良い成果として、他材料系への適用成功も得た。CoSbSにおいて、Teの過剰ドーピングにより、ゼーベックと電気伝導率を最適化すると同時に、ナノマイクロ空孔も形成して、電気的な性質をあまり損なわずに、熱伝導率の大幅な低減を得ることに成功して、性能指数 $ZT \sim 0.5$ という100%の増大を得ることに成功した (J. Mater. Chem. C, 8, 1811 (2020))。

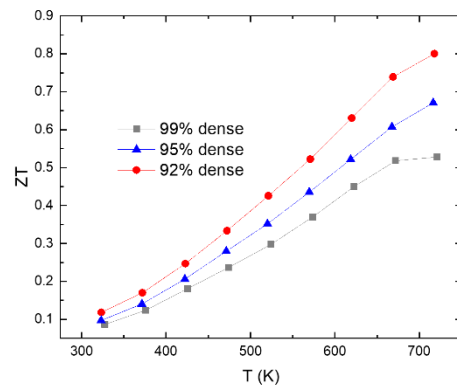


図4. 空孔を生成した $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sb}_3$ 系化合物の熱電性能指数。

まとめると、以前はn型のスキテルダイト CoSb_3 系材料の一例に活用しただけだったが、本プロジェクトの成果として、p型のスキテルダイト材料、また、異なる系にも、ナノマイクロ

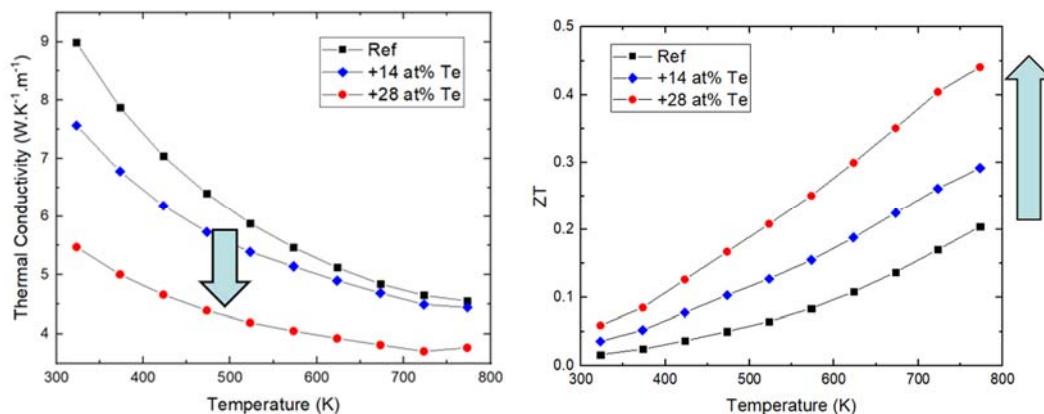


図5. 空孔を生成したCoSbS系化合物の熱伝導率(左)、熱電性能指数(右)。

空孔による大きな熱電高性能化を一般的に活用できることを証明した。本研究により、シーズを電高性能化原理に高度化することに成功した。

まとめると、以前はn型のスキテルダイトCoSb₃系材料の一例に活用しただけだったが、本プロジェクトの成果として、p型のスキテルダイト材料、また、異なる系にも、ナノマイクロ空孔による大きな熱電高性能化を一般的に活用できることを証明した。本研究により、シーズを電高性能化原理に高度化することに成功した。

実際に、業界では、我々が見出した高性能化手法の追従で、複数の異なる熱電材料系でナノマイクロ空孔を生成させることで高性能化が得られている。

また、本研究の、予想外の副次的な顕著な成果として、ナノマイクロ空孔を生成させる手法である、低融点第二相添加によって、数少なく多ホウ化物においてp-n制御ができるYAIB₁₄系化合物の焼結性・創製方法の大幅な改良が得られた(Scientific Reports, 10, 8914 1-16 (2020))。

ii) ナノコンポジットにおける複合効果による熱電パワーファクター高性能化の開発

得られていた本手掛かりはボロンカーバイドのn型カウンターパートと期待されるYB₂₂C₂Nに関するものであったが、他の有望な熱電材料希土類ホウ化物系のREB₆₆などに関しても、金属化合物との複合化を試みた。

その結果、REB₆₆において、TiB₂などを複合化したが、金属化合物相が偏析してしまい、再現性良くコントロールできる高性能化が得られなかった。しかし、数多くの実験により、電気伝導率とゼーベック係数の同時大幅増強のメカニズムの解明に関しては、金属化合物相を細かく分散できればできるほど、高性能化の傾向が確認でき、今後のナノコンポジット熱電材料の開発指針が得られた。

また、副次的な成果として、REB₆₆の合成方法の大幅な改良の成功(J. Eur. Ceram. Soc., 40, 3585 (2020))や物性の解明が進んだ(J. Alloys Compd., 813, 152182 (2020))。一方で、手がかりの成果を与えたYB₂₂C₂Nに関しても、緻密化や合成方法の煩雑さがこれまでに材料開発の大きな支障になっていたが、気相を活用することで、比較的容易に窒化することができ、緻密化にも成功できることが新たに分かった(J. Ceram. Soc. Japan, Express Letters, 128, 181 (2020))。

ナノコンポジットによる大幅な高性能化も得られた。絶縁性の酸化物MgTi₂O₅において、金属性のTiNを複合化させることで、電気伝導率を大幅に増大すると同時に、ゼーベック係数は60 mV/K以上の比較的大きい値を取ることに成功した。熱電パワーファクターの100倍以上の大幅な増大が得られた。コンポジット化によって、図6のように、TiNの作用で、粒成長の抑制や、上記のナノマイクロ空孔の効果とも関連するがマイクロクラックも得られ、TiNは非常に熱伝導率の高い構成要素でありながら、通常期待されるコンポジット則に比べて熱伝導率の低減も得られた。総合的に性能指数の43倍の大幅な高性能化が得られた(図7)。

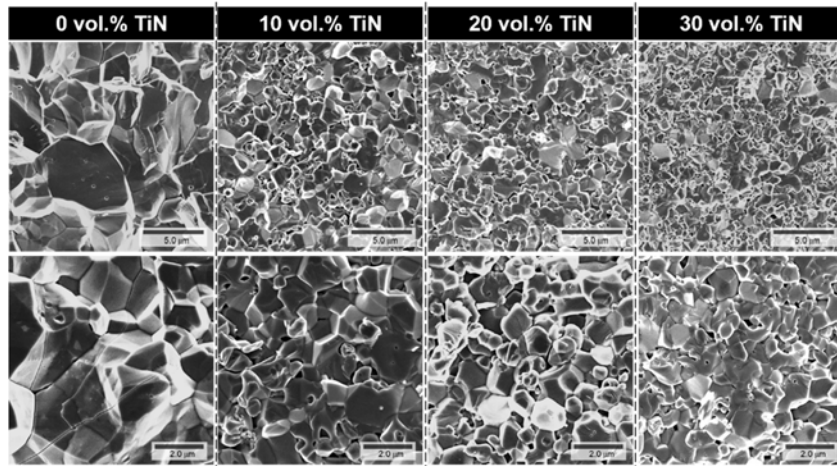


図6. MgTi₂O₅/TiN コンポジット材料のマイクロ構造。

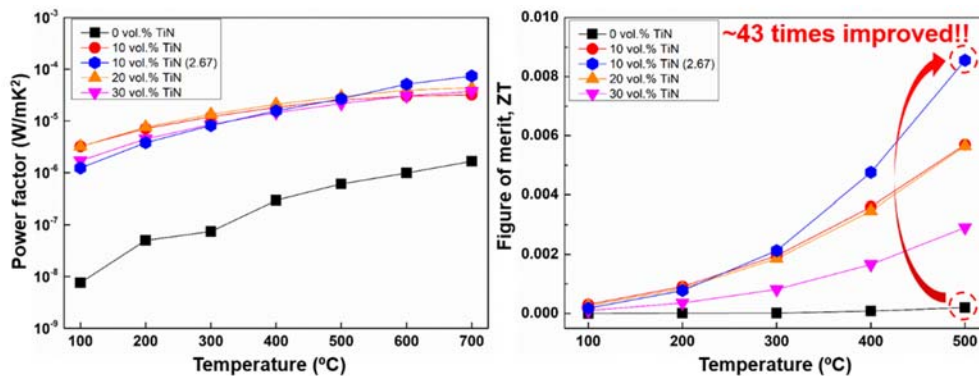


図7. MgTi₂O₅/TiN コンポジット材料の出力因子 (左)、熱電性能指数 (右)。

このように、ナノコンポジットの作製により、熱電材料として全く考えられなかった低性能の絶縁材料においても比較的高性能を得ることができることを示した (Scripta Mater. 178, 44 (2020))。

他にも、GeTe において均一な第二相析出物の創り込みに成功して、性能指数 ZT~2 の極めて高性能を達成した (Small, 16, 1906921 (2020))。また、BiSbTe 系に酸化物のナノ粒子を導入してナノコンポジットを形成することで、界面のエネルギーフィルタリングと思われる効果により、電気伝導率をあまり損なわずにゼーベック係数の増大に成功し、BiSbTe 系を熱電性能指数 ZT~1.5 に非常に高性能化し、室温から 450 K の広い温度域で高性能 ZT>1 を達成した (J. Mater. Chem. A, 6, 21341 (2018))。

まとめると、ナノコンポジットによる高性能化戦略において、電気伝導率とゼーベック係数の同時大幅増強のメカニズムの解明に関しては、金属化合物相を細かく分散できればできるほど、高性能化の傾向が確認できることが分かった。その指針は上記の高性能化が得られた酸化物ナノ粒子による BST の例や、GeTe における Ge の例においても同様で、今後のナノコンポジット熱電材料の開発指針が得られた。

この他にも、ドーピング制御をきっかけに複数の材料系の高性能化が得られ、複数の論文発表を行った。

全体をまとめると、ナノマイクロ空孔による大きな熱電高性能化のシーズを一般的に活用できることを証明した。研究分野では、追従する例も多数出ており、本研究により、シーズを電高性能化原理に高度化することに成功した。ナノコンポジットによる高性能化戦略においても、高性能化の複数の顕著な例に成功して、今後のナノコンポジット熱電材料の開発指針が得られた。以上の本研究の成果は、注目され、国際会議で複数の招待講演が行われて、関連の国際誌論文約 20 編出版され、成果公表も積極的に行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 6件）

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. 著者名 G. Guelou, F. Failamani, P. Sauerschnig, J. Waybright, K. Suzuta and T. Mori | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Role of excess tellurium on the electrical and thermal properties in Te-doped paracostibite | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 1811 1818 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc04840e | 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 Hyoung-Won Son, Quansheng Guo, Yoshikazu Suzuki, Byung-Nam Kim, and Takao Mori | 4. 巻 178 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric properties of MgTi ₂ O ₅ /TiN conductive composites prepared via reactive spark plasma sintering for high temperature functional applications | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Scripta Materialia | 6. 最初と最後の頁 44 50 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2019.11.008 | 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 Quansheng Guo, David Berthebaud, Jumpei Ueda, Setsuhisa Tanabe, Akinobu Miyoshi, Kazuhiko Maeda, and Takao Mori | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Facile p-n Control, Magnetic and Thermoelectric Properties of Chromium Selenides Cr _{2+x} Se ₃ | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 8269 8276 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc01634a | 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 P. Sauerschnig, K. Tsuchiya, T. Tanaka, Y. Michiue, O. Sologub, S. Yin, A. Yoshikawa, T. Shishido, and T. Mori | 4. 巻 813 |
| 2. 論文標題 On the thermoelectric and magnetic properties, hardness, and crystal structure of the higher boride YbB ₆ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 152182-1 -8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.152182 | 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 S. Gabani, K. Flachbart, K. Siemensmeyer, and T. Mori | 4. 巻 821 |
| 2. 論文標題 Magnetism and superconductivity of rare earth borides | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 153201-1 -21 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.153201 | 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 Jing Shuai, Xiaojian Tan, Quansheng Guo, Jingtao Xu, Alain Gelle, Regis Gautier, Jean-Francois Halet, Fainan Failamani, Jun Jiang, and Takao Mori | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Enhanced Thermoelectric Performance through Crystal Field Engineering in Transition Metal Doped GeTe | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Materials Today Physics | 6. 最初と最後の頁 100094-1 -7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtphys.2019.100094 | 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 Sylvain Le Tonquesse, Zelia Verastegui, Helene Huynh, Vincent Dorcet, Quansheng Guo, Valerie Demange, Carmelo Prestipino, David Berthebaud, Takao Mori, Mathieu Pasturel | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Magnesio-reduction Synthesis of (Co-doped) beta-FeSi2: mechanism, microstructure and improved thermoelectric properties | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Appl. Energy Mater. | 6. 最初と最後の頁 8525 8534 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtphys.2019.100094 | 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 P. Sauerschnig, J.L. Watts, J.B. Vaney, P.C. Talbot, J.A. Alarco, I.D.R. Mackinnon, and Takao Mori | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric properties of phase pure boron carbide prepared by a solution-based method | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Advances in Applied Ceramics | 6. 最初と最後の頁 97 106 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17436753.2019.1705017 | 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 Sylvain Le Tonquesse, Vincent Dorcet, Loic Joanny, Valerie Demange, Carmelo Prestipinoa, Quansheng Guo, David Berthebaud, Takao Mori, Mathieu Pasturel | 4. 巻 816 |
| 2. 論文標題 Mesostucture - thermoelectric properties relationships in $V_xMn_{1-x}Si_{1.74}$ ($x = 0, 0.04$) Higher Manganese Silicides prepared by magnesiothermy | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 152577-1 -12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.152577 | 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 T Mori, T Aizawa, S Mitani, N Tsujii, I Ohkubo, T Tynell, Y Kakefuda, T Baba, M Mitome, N Kawamoto and D Golberg | 4. 巻 1407 |
| 2. 論文標題 Development of thermoelectric thin films and characterization methods | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser. | 6. 最初と最後の頁 012055-1 -5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1407/1/012055 | 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 Jing Shuai, Yang Sun, Xiaojian Tan, and Takao Mori | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Manipulating the Ge vacancies and Ge precipitates through Cr doping for realizing the high performance GeTe thermoelectric | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Small | 6. 最初と最後の頁 1906921-1 -7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201906921 | 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 Quansheng Guo, Hyoungwon Son, and Takao Mori | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Rational Design of Spinel-Type $Cu_4Mn_2Te_4/TMTe$ ($TM = Co, Ni$) Composites with Synergistically Manipulated Electrical and Thermal Transport Properties | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials | 6. 最初と最後の頁 2096 2102 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b02135 | 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 Hyoung-Won Son, Philipp Sauerschnig, David Berthebaud, and Takao Mori | 4. 巻 128 |
| 2. 論文標題 Rapid synthesis of thermoelectric YB22C2N via spark plasma sintering with gas/solid reaction technology | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan, Express Letters | 6. 最初と最後の頁 181 185 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19216 | 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 P. Sauerschnig, J.B. Vaney, Y. Michiue, K. Kouzu, T. Yamasaki, S. Okada, A. Yoshikawa, T. Shishido, and T. Mori | 4. 巻 40 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric and magnetic properties of spark plasma sintered REB66 (RE = Y, Sm, Ho, Tm, Yb) | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society | 6. 最初と最後の頁 3585 3591 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2020.03.014 | 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 Takahiro Baba, Tetsuya Baba, Takao Mori | 4. 巻 91 |
| 2. 論文標題 Experimental investigation of reciprocity of temperature response across two layer samples by flash method | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments | 6. 最初と最後の頁 01490-1 -7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5124799 | 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 A. Pakdel, Q. Guo, V. Nicolosi, and T. Mori | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Enhanced Thermoelectric Performance of Bi-Sb-Te/Sb203 Nanocomposites by Energy Filtering Effect | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 21341-21349 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TA08238C | 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 Takao Mori | 4. 巻 275 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric and magnetic properties of rare earth borides: boron cluster and layered compounds | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry | 6. 最初と最後の頁 70-82 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2019.03.046 | 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 Leilane R. Macario, Xiaoyu Cheng, Daniel Ramirez, Takao Mori, and Holger Kleinke | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric Properties of Bi-Doped Magnesium Silicide Stannides | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces | 6. 最初と最後の頁 40585-40591 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b15111 | 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 Jean-Baptiste Vaney, Sima Aminorroaya Yamini, Hirokazu Takaki, Kazuaki Kobayashi, Nobuhiko Kobayashi, Mitchell Nancarrow, and Takao Mori | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Magnetism-mediated thermoelectric performance of the Cr-doped bismuth telluride tetradymite | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Materials Today Physics | 6. 最初と最後の頁 100090 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtphys.2019.03.004 | 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 Marek Piotrowski, Miguel Franco, Viviana Sousa, José Rodrigues, Francis Leonard Deepak, Yohei Kakefuda, Tetsuya Baba, Naoyuki Kawamoto, Bryan Owens-Baird, Pedro Alpuim, Kirill Kovnir, Takao Mori, and Yury V. Kolenko | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Probing of Thermal Transport in 50-nm Thick PbTe Nanocrystal Film by Time-Domain Thermoreflectance | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 27127-27134 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b04104 | 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 I. Petsagkourakis, K. Tybrandt, X. Crispin, I. Ohkubo, N. Satoh, and T. Mori | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Thermoelectric Materials and Applications for Energy Harvesting Power Generation | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials | 6. 最初と最後の頁 836-862 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2018.1530938 | 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 T. Mori | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Novel principles and nanostructuring methods for enhanced thermoelectrics | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Small | 6. 最初と最後の頁 1702013 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201702013 | 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 T. Mori and S. Priya | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Materials for energy harvesting: At the forefront of a new wave | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 MRS Bulletin | 6. 最初と最後の頁 176-180 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/mrs.2018.32 | 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 |

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Development of Hybrid Effect Nanocomposites and Advanced Thermal and Electrical Nanomeasurements |
| 3. 学会等名 IUMRS-ICEM2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Bottom-up Nanostructuring and Novel Materials and Concepts to Develop Viable Thermoelectrics |
| 3. 学会等名 COE2018 (15th International Conference on Optical and Electronic Sensors) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Development of Thermoelectric Borides toward Topping Cycles |
| 3. 学会等名 CIMTEC2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Fabrication and properties evaluation of thermoelectric thin films |
| 3. 学会等名 TMS2019 (148th Annual Meeting) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Philipp Sauerschnig, Alif Sussardi, Kantaro Tsuchiya, Jean-Baptiste Vaney, and Takao Mori |
| 2. 発表標題 Different crystal growth conditions and thermoelectric properties of SmB6 |
| 3. 学会等名 ISBB2017 19th International Symposium on Boron, Borides & Related Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Hyoung-Won Son, Quansheng Guo and Takao Mori |
| 2. 発表標題 MgTi2O5をマトリックスとする導電性複合材料の熱電特性 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Fainan Failamani and Takao Mori |
| 2. 発表標題 Phase diagram approach to develop high performance p-type thermoelectrics |
| 3. 学会等名 第12回日本フラックス成長研究発表会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Philipp Sauerschnig, Jean-Baptiste Vaney, Takaho Tanaka, Alif Sussardi, Kantaro Tsuchiya, Kunio Yubuta, Akira Yoshikawa, Toetsu Shishido, and Takao Mori |
| 2. 発表標題 Effect of transition metal seeding on thermoelectric properties of SmB6 single crystals |
| 3. 学会等名 第12回日本フラックス成長研究発表会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Phonon selective scattering mechanisms leading to high thermoelectric performance |
| 3. 学会等名 JTACC-V4 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takao Mori |
| 2. 発表標題 Bottom-up Nanostructuring for Enhanced Thermoelectric Performance |
| 3. 学会等名 PACRIM12 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 森孝雄、湯蓋邦夫、野村明子、宍戸統悦、神津薫、山崎貴、岡田繁、David Berthebaud、Anwar Hossain、田中功 |
| 2. 発表標題 ホウケイ化物結晶の熱電的性質：乱れと異方性 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2017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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |