

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420699

研究課題名(和文)超高性能鉛カルコゲナイド系バルク体熱電材料の創製

研究課題名(英文)Development of High-Performance Thermoelectric Materials Based on Lead Chalcogenides

研究代表者

太田 道広(Ohta, Michihiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・省エネルギー研究部門・主任研究員

研究者番号：50443172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：鉛カルコゲナイド(PbX ($X: S, Se, Te$))系熱電材料において、結晶構造(原子配置)から、ナノ構造、マイクロ構造、ミリ構造までの各階層の形態を制御することで、熱電特性の改善と熱電変換モジュールの開発を実施した。 PbX 層とビスマス・カルコゲナイド(Bi_2X_3)層を基本構造とした $PbX-Bi_2X_3$ において、層形態を結晶構造レベルで制御し、さらに焼結体組織の配向をマイクロレベルで制御して、熱電性能指数 ZT の向上を実現した。さらに、ナノ構造を有する $PbTe$ 焼結体を用いたミリレベルの熱電変換モジュールにおいて、その高温発電動作を確認した。

研究成果の概要(英文)：High-performance thermoelectric materials and module based on lead chalcogenides (PbX ($X: S, Se, Te$)) were developed by controlling their structures at all length scales from crystal atomic to nano, micro, and milliscopic. The layered chalcogenides with layers of PbX and bismuth chalcogenide ($PbX-Bi_2X_3$) were synthesized from elemental Pb , Bi , and X . In sintered compacts of $PbX-Bi_2X_3$, the layered crystal structures and highly oriented microtextures enhance the thermoelectric figure of merit ZT . In milli-scale thermoelectric module, the sintered compacts of $PbTe$ having nanostructure has been used for thermoelectric legs. The power generation of this module has been demonstrated at high temperature.

研究分野：材料工学、金属物性・材料、熱電変換

キーワード：熱電材料、未利用熱エネルギーの活用、層状構造、ナノ構造、配向制御、熱電変換デバイス、金属物性・材料、焼結

1. 研究開始当初の背景

熱電変換技術を用いることで、産業・民生・運輸分野から大量に排出されている未利用熱エネルギーを、利用価値の高い電気エネルギーとして直接回収できる可能性がある。しかしながら、技術の核となる熱電材料の変換効率は低く、高効率な新材料の開発が切望されている。

熱電材料の変換効率は、熱電性能指数 $ZT = S^2T/\rho$ で評価され、この ZT が高いほど熱電材料の変換効率は高い。ここで、 S 、 T 、 ρ はそれぞれ、ゼーベック係数、温度、電気抵抗率、熱伝導率である。すなわち、優れた熱電材料には、優れた電気特性 (S/ρ 、出力因子と呼ばれる) を有し、かつ熱伝導率 (ρ) が低いことが要求される。高効率の新規熱電材料を開発するためには、 ZT を向上させるための新しい材料設計指針が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、熱電材料の新しい設計指針として、結晶構造(原子配置)から、ナノ構造、マイクロ構造、ミリ構造までの各階層の形態制御を開発する。特に、鉛カルコゲナイド (PbX (X = S, Se, Te)) 系、並びに本研究の遂行過程で着想を得た新たな材料群において、各階層の形態制御を用いて ZT を向上させることが本研究の目的である。

研究の対象である PbX 系バルク体熱電材料は、米国では開発研究が盛んに実施されている。特に X = Te の PbTe において、ナノ構造とマイクロ構造を制御することで、既存材料の二倍以上に達する非常に高い ZT が実現できると報告されている。一方で、日本では毒性元素である鉛を嫌い、PbX 系の研究はほとんど実施されていない。将来的には毒性の低い熱電材料が必要となるだろうが、現時点で最高峰の特性を示す PbX 系熱電材料の研究を日本でも実施し、その開発技術を有するべきである。

さらに、PbX 系において実施されている上記のナノ構造とマイクロ構造の形態制御は、研究が始まったばかりで、現状では最適化されているとは言い難い。そこで本研究では、ナノ・マイクロ構造と熱電特性との関係を調査して、これら形態の最適化を図り、 ZT を向上させる。その上、結晶構造の形態制御を通じた更なる電気特性の改善と熱伝導率の低減を実現する。最後に、バルク体熱電材料を用いてミリレベルの熱電変換モジュールを組み立て、その発電特性を検証する。

3. 研究の方法

日本ではほとんど研究が実施されていないが、超高効率熱電材料として米国では盛んに開発研究されている PbX 系バルク体と、本研究の実施過程で着想を得た層状硫化物 ((LaS)_{1.20}CrS₂) とコルーサイト (Cu₂₆M₂Sn₆S₃₂ (M = Ge, Sn)) に注目して、結晶構造から、ナノ構造、マイクロ構造、ミリ構造までの各

階層の形態を制御することで、熱電特性の改善と熱電変換モジュールの開発を目指した。具体的には、上記材料群のバルク焼結体において次の研究を遂行した。

- 優れた電気特性と低い熱伝導率を実現する、層状の結晶構造を持つ熱電材料の創製。
- 熱伝導率を低減させるためのナノ構造制御。
- マイクロレベルで焼結体組織を制御して、優れた電気特性のと熱伝導率の低減。
- ミリレベル熱電変換モジュールの試作。

4. 研究成果

(1) PbX-Bi₂X₃ 系熱電材料における結晶構造とマイクロ構造の制御

はじめに

本研究では、まず、PbX 層とピスマス・カルコゲナイド (Bi₂X₃) 層を基本構造とした層状構造を持つ PbX-Bi₂X₃ において、層形態を結晶構造レベルで制御し、さらに焼結体組織の配向をマイクロレベルで制御して、熱電特性の向上を実現した。

結晶構造の制御

本研究では、異なる層形態を有する三つの PbX-Bi₂X₃、すなわち、カニツァライト・ホモロガス系列に属する Pb₅Bi₆Se₁₄、リリアナイト・ホモロガス系列に属する Pb₃Bi₂S₆、ガレノピスマタイト・ホモロガス系列に属する PbBi₂S₄ の焼結体の作製に成功した。ここで、カニツァライト、リリアナイト、ガレノピスマタイトという名称は、これら化合物と類似の化学組成を有する鉱物の名称に由来する。

三つの PbX-Bi₂X₃ 系は、それぞれに異なる結晶構造を有する。図 1 に、Pb₅Bi₆Se₁₄、Pb₃Bi₂S₆、PbBi₂S₄ の結晶構造を示す。Pb₅Bi₆Se₁₄ は、*ab* 面方向に二次元的に広がった PbSe 層と Bi₂Se₃ 層が、*c* 軸方向に交互に堆積している結晶構造を有する。Pb₃Bi₂S₆ では、(Pb/Bi)S 層がミラー対称を持つように *c* 軸方向に積層している。PbBi₂S₄ の結晶構造では、PbSe 層と Bi₂Se₃ 層が有限長に切断されている。この特異的な結晶構造により、熱を運ぶフォノンの効果的な散乱が引き起こされ、後述する通り、これらの焼結体に非常に低い熱伝導率をもたらす。

マイクロ構造の制御

図 2 に、作製した Pb₅Bi₆Se₁₄、Pb₃Bi₂S₆、PbBi₂S₄ 焼結体の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を示す。ここで、焼結体は一軸加圧型焼結法を用いて作製した。図 2(a) に示す通り、Pb₅Bi₆Se₁₄ 焼結体では、その組織が焼結加圧方向に対して垂直方向 (面内方向) に成長しており、そのサイズは 30 μm 程度である。X 線回折法による評価の結果、結晶構造の *c* 軸が、焼結加圧方向に対して平行方向 (面外方向) に優先的に配向していることが明らかとなった (*c* 軸については図 1(a) を参照)。一方で、Pb₃Bi₂S₆ と PbBi₂S₄ 焼結体では、図 2(b)

と(c)に示す SEM 写真からも、X 線回折法による評価からも、配向的な組織は観測されなかった。

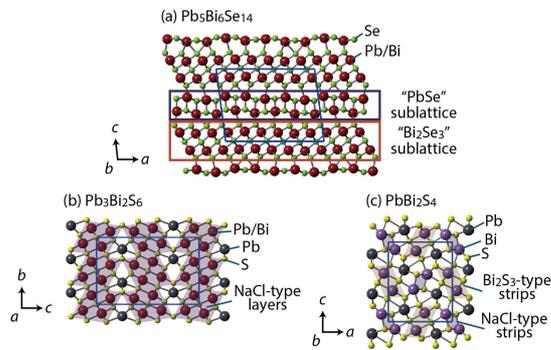


図1 (a) $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 、(b) $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ 、(c) PbBi_2S_4 の結晶構造。研究代表者が著者となっている「Journal of Materials Chemistry A, Vol. 2, Issue 47, 2014, pp. 20048-20058(本稿の「5. 主な発表論文等」の雑誌論文)」からの引用。

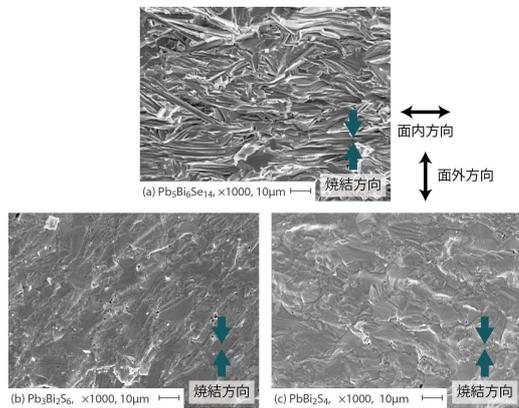


図2 (a) $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 、(b) $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ 、(c) PbBi_2S_4 の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真。「5. 主な発表論文等」の雑誌論文に掲載の図を基に作成。

$\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体の熱電特性

$\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体のゼーベック係数は負の値を示し、電荷を運ぶ主要なキャリアが電子 (n 型) であることを明らかにしている。705 K にて、面内方向に評価したゼーベック係数は $\sim -210 \mu\text{V K}^{-1}$ 、面外方向に評価したゼーベック係数は $\sim -230 \mu\text{V K}^{-1}$ である。

$\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ の結晶構造と焼結体の組織は、共に二次元的形態を有しているため、熱電特性は焼結加圧方向に対して強い異方性を示す。 $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ の結晶構造から見たときに、層内 (ab 面方向) を電気が流れやすい。さらに、 $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体の組織は、面内方向に ab 面が優先的に配向している。そのため、焼結体においても、この面内方向に電気が良く流れ、すなわち、この方向の電気抵抗率は低くなる。705 K にて、面内方向に評価した電気抵抗率は $\sim 140 \mu\Omega\text{m}$ で、面外方向に評価した電気

抵抗率はその二倍上の $\sim 320 \mu\Omega\text{m}$ である。

電気抵抗率の異方性のため、図 3(a) に示す通り、出力因子も異方性を示す。高い出力因子は、低い電気抵抗率を示す面内方向に観測され、705 K で $\sim 300 \mu\text{W K}^{-2}\text{m}^{-1}$ に達する。この値は、面外方向の値 ($\sim 160 \mu\text{W K}^{-2}\text{m}^{-1}$) と比較して 50% 程度大きい。

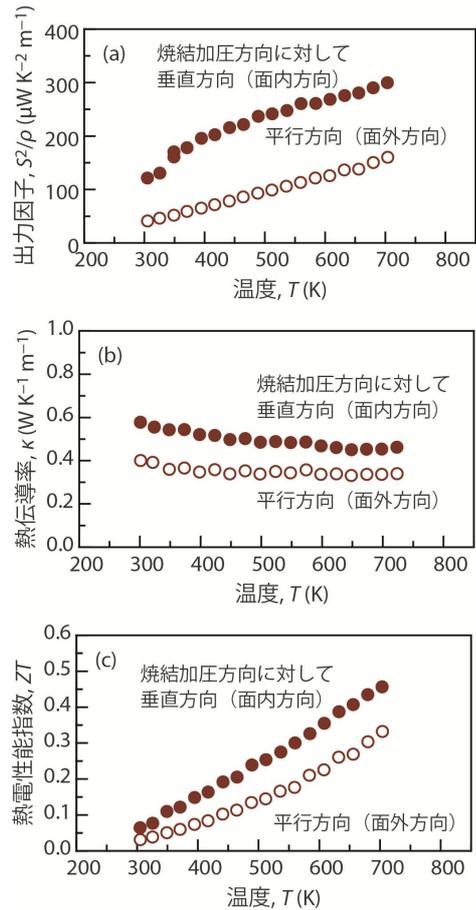


図3 $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体における焼結加圧方向に垂直方向 (面内方向) と平行方向 (面外方向) の (a) 出力因子 S^2/ρ 、(b) 熱伝導率 κ 、(c) 熱電性能指数 ZT の温度依存性。「5. 主な発表論文等」の雑誌論文に掲載の図を基に作成。

熱伝導率、音速、比熱などの測定から、室温におけるフォノンの平均自由行程を見積もると 0.8 nm となった。この値は、 PbSe 層と Bi_2Se_3 層の層間距離に近いものであり、この事実は、層の界面にて効果的なフォノン散乱が引き起こされていることを示唆している。その結果として、 $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体は、図 3(b) に示す通り、ガラスに匹敵するほどの非常に低い熱伝導率を示す。特に、焼結体組織の配向のために、 $\text{Pb}_5\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体の熱伝導率は、面内方向よりも、 PbSe 層と Bi_2Se_3 層の界面が存在する面外方向に低い値を示す。720 K での面外方向の熱伝導率は非常に低い値 ($\sim 0.34 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$) であり、面内方向の値 ($\sim 0.46 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$) と比較して 25% 程度低い。

高い出力因子と低い熱伝導率のため、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ は高い ZT を示す。特に、面内方向のより高い出力因子に起因して、この方向での ZT は705 Kで ~ 0.46 に達する。この値は、同じ温度での面外方向の $ZT \sim 0.33$ よりも30%程度高い。すなわち、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体では、その結晶構造が層状であることと、その層状構造を焼結体の組織においても配向という形で反映することに成功して、 ZT の向上を成し遂げた。

$\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 焼結体の熱電特性

$\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 焼結体は共に、ゼーベック係数は負の値を示し、主要なキャリアが電子(n型)であることを明らかにしている(表1)。さらに、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 の結晶構造は、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ と同様に層状構造を基本としており、層の界面での効果的なフォノン散乱により、表1に示す通り、低い熱伝導率が達成される。

表1 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 焼結体における700 K ~ 720 Kの焼結加圧方向に垂直方向(面内方向)と平行方向(面外方向)のゼーベック係数 S 、電気抵抗率 μ 、出力因子 S^2/ρ 、熱伝導率

	S $\mu\text{V K}^{-1}$	μ m	S^2/ρ $\mu\text{W K}^2 \text{m}^{-1}$	ρ $\text{W K}^{-1} \text{m}^{-1}$
$\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$焼結体				
面内	-200	150	240	0.67
面外	-180	130	240	0.69
PbBi_2S_4焼結体				
面内	-290	360	240	0.57
面外	-270	270	260	0.57

しかしながら、これら焼結体の組織は、層状構造を反映せず、ランダムに配向している。ランダム配向の結果として、電気抵抗率、ゼーベック係数、出力因子、熱伝導率には、大きな異方性はなく、表1に示す通り、面内方向と面外方向ともに同程度の値を示す。

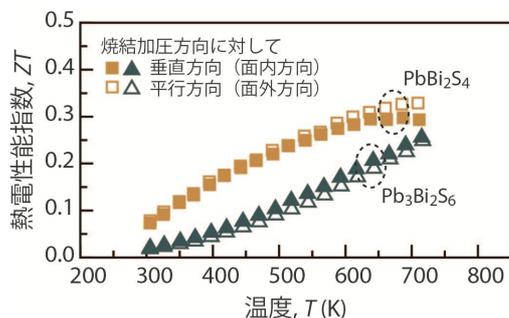


図4 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 焼結体における焼結加圧方向に垂直方向(面内方向)と平行方向(面外方向)の熱電性能指数 ZT の温度依存性。「5・主な発表論文等」の雑誌論文に掲載の図を基に作成。

図4に示す通り、両試料とも、 ZT にも異方性は見られない。 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ の ZT は面内方向にて715 Kで ~ 0.26 に達し、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ の ZT は面外方向にて715 Kで ~ 0.33 に達する。 $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ と PbBi_2S_4 は熱電材料として有利な層状構造を有しているが、この層状構造を焼結体組織の配向に反映することができず、その結果として、両焼結体の ZT は、 $\text{Pb}_3\text{Bi}_6\text{Se}_{14}$ 焼結体の ZT よりも低い値となった。

(2) PbTe系熱電材料におけるナノ構造制御とミリレベルの熱電変換モジュール開発

ナノ構造の制御

我々は、これまでの研究で、ナノ構造を有する熱電材料として、p型の PbTe -2% Mg -4% Na 焼結体の作製に成功した。この材料は、 Mg 由来したナノ構造を有し、熱伝導率が極端に低く(820 Kで $\sim 1.1 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$)、その結果、810 Kで非常に高い $ZT \sim 1.8$ を示す。本研究では、n型の PbTe 焼結体の開発を実施した。

PbTe に、n型のドーパントとしてヨウ化鉛 PbI_2 を添加した。作製した PbTe -0.2% PbI_2 焼結体を、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて観察したところ、 Pb の欠陥が集合した5 nm程度のナノ構造の形成が明らかとなった(図5にて白枠で囲んである部分)。 PbTe -0.2% PbI_2 焼結体は熱電材料として相応しい低い熱伝導率(750 Kで $\sim 1.1 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$)を示すが、このナノ構造がフォノンを効果的に散乱していることがその要因の一つであると考えられる。 ZT は、750 Kで高い値(~ 1.4)に達した。

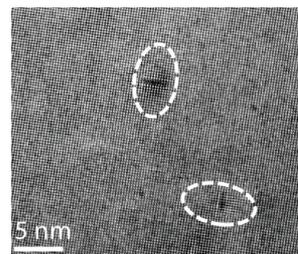


図5 PbTe -0.2% PbI_2 焼結体の透過型電子顕微鏡(TEM)写真(晶帯軸[001])。「5・主な発表論文等」の雑誌論文に掲載の図を基に作成。

ミリレベルの熱電変換モジュール開発

続いて、p型には従来材料の PbTe -2% Mg -4% Na を、n型には本研究で開発した PbTe -0.2% PbI_2 を熱電材料として用いて、ミリレベルの熱電変換モジュールを作製した。作製したモジュールの外観を図6に示す。本モジュールでは、 PbTe 系熱電材料と電極の接合に、高温側には銀ペーストを、低温側では半田を用いた。これらの部材を用いることで、高温で安定的に発電することが期待される。実際に、低温283 K、高温873 Kの条件で、発電することを確認した。

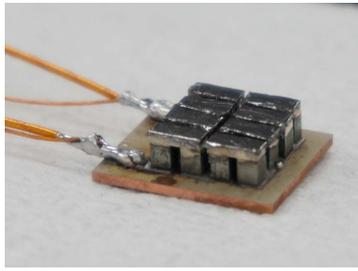


図6 PbTe-2% Mg-4% Na 焼結体 (p 型) と PbTe-0.2% PbI₂ 焼結体 (n 型) を使用した熱電変換モジュールの外観。

(3) 層状硫化物 ((LaS)_{1.20}CrS₂) とコルーサイト (Cu₂₆M₂Sn₆S₃₂ (M = Ge, Sn))

PbX 系の研究で得た知見を応用して、その他の系においても研究を実施した。その一つが層状硫化物 ((LaS)_{1.20}CrS₂) であり、その結晶構造は、硫化ランタン (LaS) 層と硫化ニオブ (NbS₂) 層が、c 軸方向に交互に堆積している。層状構造を反映した配向した焼結体組織の形成に成功し、面内方向に高い ZT を達成した。950 K にて、面内方向の ZT は ~0.14 に達し、面外方向の ZT (~1.0) と比較して 40% 向上する。

もう一つが、コルーサイト (Cu₂₆M₂Sn₆S₃₂ (M = Ge, Sn)) である。PbX-Bi₂X₃ 系熱電材料が鉱物に由来することから、鉱物に由来する他の材料系を探索する中で、鉱物コルーサイトと類似の化学組成を有する Cu₂₆M₂Sn₆S₃₂ (M = Ge, Sn) において高い ZT を達成した。663 K にて Cu₂₆Ge₂Sn₆S₃₂ の ZT は、PbX 系に迫る高い値 (~0.73) に達する。毒性が少なく、地殻存在度が高い元素である Cu と S からなるコルーサイトは、PbX 系の欠点である毒性を克服しており、次世代熱電材料の候補である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

代表的な 10 件を記載。

名前の後ろの「*」印が責任著者を表す。

KIM, Fiseong S., SUEKUNI, Koichiro*, NISHIATE, Hirotaka, OHTA, Michihiro, TANAKA, Hiromi I., TAKABATAKE, Toshiro, Tuning the Charge Carrier Density in the Thermoelectric Colusite, Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.119, Issue 17, 2016, pp.175105:1-5
DOI: 10.1063/1.4948475

太田 道広*, 古くて新しい鉛テルライド系熱電材料: ナノ構造化がもたらす驚異の性能、金属、査読無、第 86 巻、第 3 号、通巻 1154 号、2016、pp.213-220

HU, Xiaokai, JOOD, Priyanka, OHTA, Michihiro*, KUNII, Masaru, NAGASE, Kazuo, NISHIATE, Hirotaka, KANATZIDIS, Mercuri G., YAMAMOTO, Atsushi, Power Generation from Nanostructured PbTe-based

Thermoelectrics: Comprehensive Development from Materials to Modules, Energy & Environmental Science, 査読有, Vol.9, Issue 2, 2016, pp.517-529
DOI: 10.1039/c5ee02979a

JOOD, Priyanka, OHTA, Michihiro*, LEBEDEV, Oleg I., BERTHEBAUD, David, Nanostructural and Microstructural Ordering and Thermoelectric Property Tuning in Misfit Layered Sulfide [(LaS)_x]_{1.14}NbS₂, Chemistry of Materials, 査読有, Vol.27, Issue 22, 2015, pp.7719-7728
DOI: 10.1021/acs.chemmater.5b03365

太田 道広*, 階層構造化によるカルコゲナイド系熱電材料の高効率化: テルライドから硫化物へ、日本金属学会誌、査読有、第 79 巻、第 11 号、2015、pp.538-547
DOI: 10.2320/jinstmet.JA201513

JOOD, Priyanka, OHTA, Michihiro*, KUNII, Masaru, HU, Xiaokai, NISHIATE, Hirotaka, YAMAMOTO, Atsushi, KANATZIDIS, Mercuri G., Enhanced Average Thermoelectric Figure of Merit of n-type PbTe_{1-x}I_x-MgTe, Journal of Materials Chemistry C, 査読有, Vol.3, Issue 40, 2015, pp.10401-10408
DOI: 10.1039/c5tc01652e

Jood, Priyanka, OHTA, Michihiro*, Hierarchical Architecturing for Layered Thermoelectric Sulfides and Chalcogenides, Materials, 査読有, Vol.8, Issue 3, 2015, pp.1124-1149
DOI: 10.3390/ma8031124
Correction, Vol.8, Issue 9, 2015, pp.6482-6483
DOI: 10.3390/ma8095315

OHTA, Michihiro, CHUNG, Duck Young, KUNII, Masaru, KANATZIDIS, Mercuri G.*, Low Lattice Thermal Conductivity in Pb₅Bi₆Se₁₄, Pb₃Bi₂S₆, and PbBi₂S₄: Promising Thermoelectric Materials in the Cannizzarite, Lillianite, and Galenobismuthite Homologous Series, Journal of Materials Chemistry A, 査読有, Vol.2, Issue 47, 2014, pp.20048-20058
DOI: 10.1039/c4ta05135a

JOOD, Priyanka, OHTA, Michihiro*, NISHIATE, Hirotaka, YAMAMOTO, Atsushi, LEBEDEV, Oleg I., BERTHEBAUD, David, SUEKUNI, Koichiro, KUNII, Masaru, Microstructural Control and Thermoelectric Properties of Misfit Layered Sulfides (LaS)_{1+m}TS₂ (T = Cr, Nb):

The Natural Superlattice System, Chemistry of Materials, 査読有、Vol.26、Issue 8、2014、pp.2684-2692
DOI: 10.1021/cm5004559

太田 道広*、硫化物熱電材料、金属、査読無、第 83 巻、第 11 号、通巻 1125 号、2013、pp.847-854

〔学会発表〕(計 4 9 件)

代表的な 1 0 件を記載。

名前の後ろの「*」印が登壇者を表す。

OHTA, Michihiro*、Sulfide and Telluride-based Thermoelectrics: Comprehensive Development from Materials to Modules、14th International Union of Materials Research Societies-International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM2015)、2015 年 10 月 25 日~29 日、西帰浦市(韓国)、招待講演

太田 道広*、HU, Xiaokai、JOOD, Priyanka、國井 勝、長瀬 和夫、西当 弘隆、KANATZIDIS, Mercouri G.、山本 淳、ナノ構造化による高性能 PbTe 熱電材料の開発とモジュール化、日本金属学会 2015 年秋期講演大会(第 157 回)、2015 年 9 月 16 日~18 日、九州大学伊都キャンパス(福岡県福岡市)

太田 道広*、HU, Xiaokai、JOOD, Priyanka、國井 勝、長瀬 和夫、西当 弘隆、KANATZIDIS, Mercouri G.、山本 淳、高い効率を示すナノ構造化 PbTe バルク材料とモジュール、日本熱電学会第十二回学術講演会(TSJ2015)、2015 年 9 月 7 日~8 日、九州大学筑紫地区(福岡県春日市)

OHTA, Michihiro*、JOOD, Priyanka、HIRAI, Shinji、SUEKUNI, Koichiro、Sulfides: Environment-Friendly and Cost-Effective Thermoelectric Materials、23rd Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-23)、2015 年 7 月 12 日~18 日、成都(中国)、招待講演

OHTA, Michihiro*、HU, Xiaokai、JOOD, Priyanka、KUNII, Masaru、NAGASE, Kazuo、NISHIATE, Hirotaka、KANATZIDIS, Mercouri G.、YAMAMOTO, Atsushi、High-performance Thermoelectric Modules Based on Nanostructured PbTe、34th Annual International Conference on Thermoelectrics and 13th European Conference on Thermoelectrics (ICT&ECT2015)、2015 年 6 月 28 日~7 月 2 日、ドレスデン(ドイツ)

太田 道広*、JOOD, Priyanka、山本 淳、葛谷 俊博、平井 伸治、LEBEDEV, Oleg I.、BERTHEBAUD, David、層状硫化物における全階層構造制御と熱電特性、日本金属学会 2015 年春期(第 156 回)講演大会、2015 年 3 月 18 日~20 日、東京大学駒場 I 地区キャンパス(東京都目黒区)

OHTA, Michihiro*、Hierarchical Architecturing for Thermoelectric Sulfides and Chalcogenides: From Materilas to Diveces、1st Symposium for the Promotion of Applied Research Collaboration in Asia (SPARCA 2015)、2015 年 2 月 8 日~11 日、台北(台湾)、招待講演

OHTA, Michihiro*、JOOD, Priyanka、KUNII, Masaru、NAGASE, Kazuo、NISHIATE, Hirotaka、KANATZIDIS, Mercouri G.、YAMAMOTO, Atsushi、Nanostructured PbTe-Based Thermoelectric Generator、2014 MRS Fall Meeting & Exhibit、2014 年 11 月 30 日~12 月 5 日、マサチューセッツ州ボストン(米国)

OHTA, Michihiro*、CHUNG, Duck Young、KUNII, Masaru、KANATZIDIS, Mercouri G.、Low Lattice Thermal Conductivity in Mineral-based Thermoelectric Materials: Homologous Series $Pb_5Bi_6Se_{14}$ 、 $Pb_3Bi_2S_6$ 、and $PbBi_2S_4$ 、33rd International Conference on Thermoelectrics (ICT2014)、2014 年 7 月 6 日~10 日、テネシー州ナッシュビル(米国)

太田 道広*、國井 勝、CHUNG, Duck Young、西当 弘隆、山本 淳、KANATZIDIS, Mercouri G.、層状カルコゲナイド $(PbX)_m(Bi_2X_3)_n$ ($X = S, Se$) の熱電特性、日本金属学会 2013 年秋期講演大会(第 153 回)、2013 年 9 月 17 日~19 日、金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)

〔その他〕

プレスリリース: 広島大学(末國 晃一郎、高島 敏郎)、産業技術総合研究所(太田 道広)、低環境負荷の人工硫化銅鉍物で高効率な熱電変換を可能に、2014 年 10 月 6 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 道広 (OHTA, Michihiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・省エネルギー研究部門・主任研究員

研究者番号: 5 0 4 4 3 1 7 2