

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06863

研究課題名（和文）粉末冶金プロセスにおける新奇熱電性能向上機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of a mechanism for a novel thermoelectric property in powder metallurgical processes

研究代表者

長谷崎 和洋（HASEZAKI, Kazuhiro）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・教授

研究者番号：30403439

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：Bi₂Te₃-Sb₂Te₃固溶体を、メカニカルアロイング（MA）とホットプレス（HP）を使って試作した。MA-HPで得られた最大熱電性能ZTが、溶解法の場合の最小フォノン熱伝導率の元素組成に制限されなかった。このメカニズムを、熱電特性と材料構造の観点から調査した。イットリア安定化ジルコニア（YSZ）セラミック容器とボールを使用して、粉碎速度依存性を調査した。容器と粉碎ボールからの汚染は、熱伝導率に悪影響を与えなかった。ZTは1.0を維持し、最大1.16が得られた。したがって、構成元素の偏析を抑制し、適切な粉碎容器およびボールを選択することにより、熱電特性を改善することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原料を粉碎合金化し結晶粒微細化するメカニカルアロイング（MA）法を用いることで、同じ組成で、従来の溶解法と異なる高い熱電性能が得られた。このメカニズムを熱電物性と材料組織の観点から調査した。その結果、偏析した元素がキャリア添加元素として働くことを防ぐことにより、熱電性能をさらに向上できることが明らかにした。他の熱電半導体材料全般の性能向上に対しても適用できることから、学術的な意義が高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Bi₂Te₃-Sb₂Te₃ was prepared by mechanical alloying (MA) followed by hot pressing (HP). These results indicate that the maximum dimensionless figure of merit ZT of the Bi₂Te₃-Sb₂Te₃ obtained by MA-HP was not restricted to a composition of the minimum phonon thermal conductivity in the case of melt growth. This mechanism was investigated from the viewpoint of thermoelectric properties and material structure. The thermoelectric materials were fabricated at various ball-milling speeds with yttria-stabilized zirconia (YSZ) ceramic balls and vessel, and then hot-pressed. The contamination from the YSZ vessel and milling balls did not affect the thermal conductivities of the Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0} bulk materials. ZT remained above 1.0 and reached the peak of 1.16 at room temperature for the sample milled at 130 rpm and hot-pressed at 350 °C. Thus, the thermoelectric properties can be improved by preventing to segregation of constitutional elements and selecting appropriate milling vessels and balls.

研究分野：材料加工・組織制御学

キーワード：熱電材料 メカニカルアロイング ホットプレス 粉末冶金

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱電半導体の無次元性能指数 ZT は以下の物性値で構成される。

$$ZT = (\alpha^2 T) / \rho \kappa \quad (1)$$

ここで、 α は温度差 1[K] あたりの熱起電力を示すゼーベック係数 [V/K]、 ρ は電気抵抗率 [$\Omega \cdot m$]、 κ は熱伝導率 [W/(mK)]、 T は絶対温度 [K] である。熱電半導体両端の温度差が大きく ZT の値が大きいほど、エネルギー変換効率が向上する。図 1 に各種熱電半導体材料の ZT の温度依存性と本研究における目標性能領域を示す。熱電半導体の電荷移動を担うキャリア添加することで、これまで 300 以下の中低温領域では、最大 $ZT=1$ 程度が得られている。

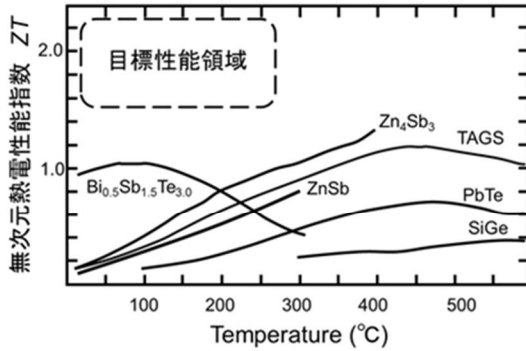


図1 キャリアを添加した各種熱電半導体材料の ZT の温度依存性 (300°C 以下で ZT は最大 1 程度)

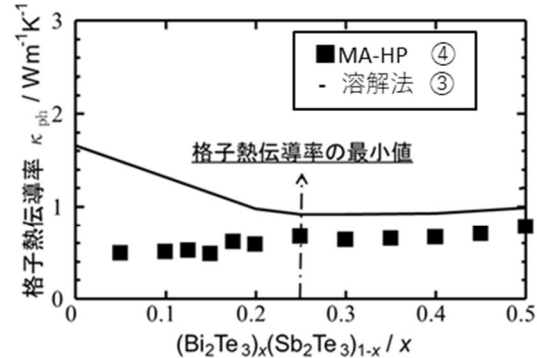


図2 キャリアを添加していない $(Bi_2Te_3)_x(Sb_2Te_3)_{1-x}$ の格子熱伝導率の組成依存性 (溶解法では、 $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_{3.0}$ ($x=0.25$) 付近が最小)

熱電半導体の合成には、単結晶育成法として原材料を一旦溶解し凝固させる溶解法が、古くから広く用いられている。1990 年代に原料を粉碎合金化する結晶粒微細化プロセスであるメカニカルアロイング (MA) 法が、BiTe 系熱電半導体材料に適用でき、ホットプレス (HP) 焼結によりバルク体が得られることを我々の研究グループが示した。MA 法は、結晶粒微細化による組織制御により格子熱伝導率が低減されることが一般に知られている。熱伝導率は、一般に格子熱伝導率 κ_{ph} と電気抵抗率に反比例するキャリア熱伝導率 κ_{ca} に分かれており

$$\kappa = \kappa_{ph} + \kappa_{ca} = \kappa_{ph} + L^{-1} T \quad (2)$$

であらわされる。ここで L はローレンツ数で一定値である。最大の熱電性能を得るためには式 (1) の分母の κ を低減させる必要があり、 Bi_2Te_3 と Sb_2Te_3 の固溶体効果により格子熱伝導率の最小値が得られる組成近傍、 $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_{3.0}$ 組成で熱電性能向上の研究が精力的に現在でも行われている。固溶体効果による格子熱伝導率の低減効果は、製造プロセスで変わらないとこれまで考えられてきた。言い換えると溶解法でも MA-HP 法でも格子熱伝導率の最小値が得られる組成は、これまで同じと考えられていた。ところが、図 2 に示すように最新の我々の研究により、格子熱伝導率の最小値が、溶解法と MA-HP 法では同じ組成にはならない新奇の熱電特性を示した。この原因を本研究で明らかにすることで、熱電半導体共通のメカニズムを導き出し、他の熱電材料の性能向上に結び付けたい。実際に図 2 と同じ条件、つまりキャリア無添加の溶解法での無次元性能指数 ZT の最大値 (実線) と MA-HP 法の組成 $(Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0})$ に対する室温の ZT 依

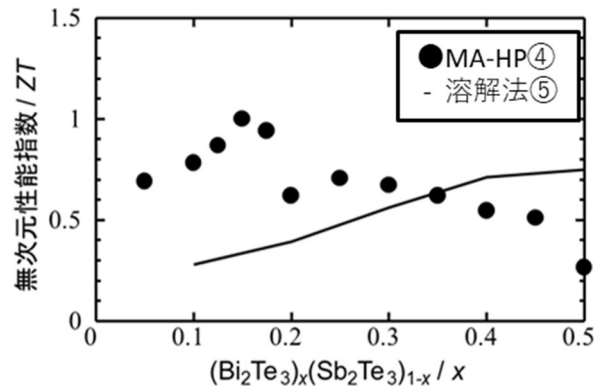


図3 無次元性能指数 ZT のキャリアを添加していない $(Bi_2Te_3)_x(Sb_2Te_3)_{1-x}$ 組成依存性 (溶解法を上回る熱電性能が $Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0}$ ($x=0.15$) で得られている)

存性を図3に示す。Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0}組成において、キャリア無添加であるにも関わらず、ZT=1が得られており、同組成の溶解法のZT=0.33を大きく上回る結果が得られた。この原因を明らかにし、さらにZTが向上するMA-HP法の指針を得ることが出来れば、中低温未利用廃熱の回収に適用(省エネ)でき、これに加えて他の熱電半導体材料全般の性能向上に対しても大いに貢献できると考えられる。

2. 研究の目的

熱電半導体の合成には、原材料を溶解し凝固させる溶解法と原料を粉碎合金化し結晶粒を微細化するメカニカルアロイング(MA)法がある。MA法は、結晶粒微細化によりκが低減することが一般に知られている。最大のZTを得るためにはκを低減させる必要があり、Bi₂Te₃とSb₂Te₃の固溶体効果によりκの最小値が得られる組成近傍、Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_{3.0}組成でZT向上の研究が行われている。固溶体効果によるκの低減効果は、製造プロセスで変わらないとこれまで考えられてきた。ところが、κの最小値が、溶解法とMA法では同じ組成にはならない新奇の熱電特性を示した。この原因を本研究で明らかにすることで、熱電半導体共通のメカニズムを導き出し、他の熱電材料の性能向上に結び付ける。

3. 研究の方法

(1) H29年度ではMAの合成条件の観点から、熱伝導率κの低減効果が溶解法と異なる理由を調査した。キャリア無添加の状態での熱電性能向上のためのMA条件のパラメータとして、特に粉碎エネルギー(遊星ボールミルの回転数)についての検討を行った。

(2) H30年度では、熱伝導率κの低減には、結晶粒微細化だけでなく、結晶粒子内に微細な粒子を均一分散させることでも可能とされている。この観点から、新たに粒子分散材料として、近年ナノ材料として非常に注目されている炭素を検討し、熱伝導率κ低減による熱電性能向上の可能性を探索した。

(3) R1年度はこれまでの研究結果を踏まえて、熱電半導体と反応し熱電性能が低下する原因となったステンレス製粉碎容器ではなく、セラミックス製を用いて、熱電半導体材料の熱電性能低下を起こす不純物の混入の抑制を試み、最終的に熱電性能の向上を目指した。

4. 研究成果

(1) MAは遊星ボールミリング装置を用いた。公転と自転を同時に行うことにより、粉碎ボールと原料が衝突を繰り返し、低回転領域では原料粉末の粉碎が進行し原料粉の微細化(原料粉碎化領域)が進行し、高回転領域では、原料粉末が反応し、合金粉末(合金化領域)が得られる。電子顕微鏡観察により、低回転数領域では、構成元素の偏析が観察されるのに対して、合金化後は数μm程度の微細結晶粒径を有する均一組織が得られ、さらに高回転ではステンレス鋼の粉碎ポットを起源とする不純物の存在が確認された。電気伝導率は原料粉碎化領域と合金化領域の境目で最小値を取るのに対して、ゼーベック係数は原料粉碎化領域と合金化領域の境目で最大値

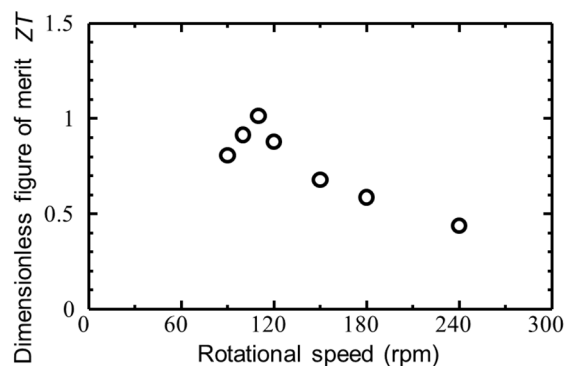


図4 Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0} 焼結体の粉碎速度に対する熱電性能依存性⑥

を取った。この理由は、原料粉碎化領域は偏析した元素がキャリア添加元素として働き、合金化領域では粉碎ポットを起源とする不純物がキャリア添加元素として働いたためと考えられる。熱伝導率は、原料粉碎化領域と合金化領域の境目で最小値を取り、遊星ボールミルの回転数に最適値が存在することを明らかにした。特に格子成分の熱伝導率は、原料粉碎化領域では、回転数とともに減少傾向があり、合金化領域では一定の値を示した。

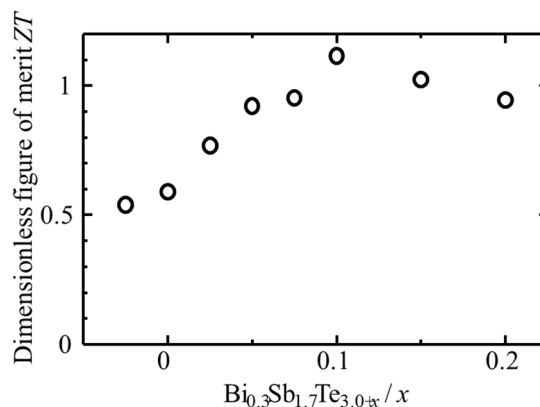


図5 $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0+x}$ のTe 添加による熱電性能依存性 (粉碎速度150rpm、焼結温度350°C) ⑦

これは合金化領域微細結晶粒径を有する均一組織を反映したものと考えられる。図4に焼結温度を350とした場合の $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ 焼結体の粉碎速度に対する熱電性能依存性を示す。熱電性能としては、原料粉碎化領域と合金化領域の境目で $ZT=1.01$ が得られた。

さらに、図5に合金化領域の粉碎条件でのキャリアとしてテルル元素を添加した場合の熱電性能依存性を示す。テルル元素を1at%添加した場合、 $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ 組成で、一方向凝固による単結晶育成法で得られている溶解法の最大熱電性能である $ZT=0.99$ を上回る $ZT=1.11$ が得られた。

(2)得られた試料中の炭素の分散状態を調査するために、本分野で初めての試みとして九州大学と共同で電子エネルギー損失吸収スペクトル法 EELS を用いて分析したところ、厚み50nmの炭素が粒界に偏析し、均一な分散が得られていないことを明らかになった。均一な分散が得られていないため、炭素を添加しても熱電性能は低下し、図6に示すように炭素を含まない $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.1}$ 組成で最大 $ZT=1.1$ が得られた。EELSが熱電半導体中の粒子分散状態を把握できる手法として有効であることを示した。

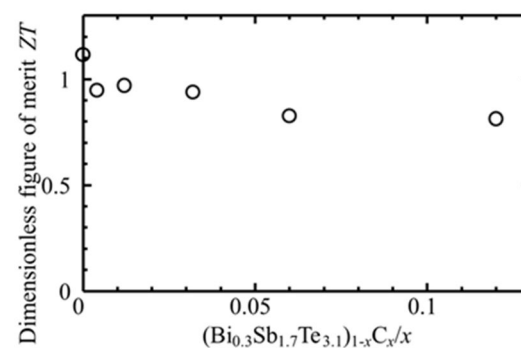


図6 $(\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.1})_{1-x}\text{C}_x$ のT添加による熱電性能依存性 (粉碎速度150rpm、焼結温度350°C) ⑧

(3) $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ 組成に関して、ステンレス鋼の粉碎ポットを起源とする不純物の影響を防ぐために、部分安定化ジルコニアセラミックス製の粉碎ボールと容器を用いて、粉碎速度依存性を調査した。150rpm以上の粉碎回転速度では、単相の $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ が得られた。焼結温度350では、破面での結晶粒径は約1μmであった。これまで用いていたステンレス製の容器と Si_3N_4 粉碎ボールで得られた焼結体と比べ、部分安定化ジルコニアセラミックス製の粉碎ボールと容器を用いた場合、ゼーベック係数は高く、電気伝導率は低くなった。これは、部分安定化ジルコニア粉碎は、 $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ 中でキャリアドーパントして働く物質を抑制したものと考えられる。加えて、フォノン熱伝導率にも悪影響を部分安定化ジルコニアは及ぼしていなかった。図7に350で焼結した部分安定化ジルコニアによる粉碎焼結体とステンレス製の容器と Si_3N_4 粉碎ボールで得られた焼結体の熱電特性を示す。部分安定化ジルコニアによる粉碎焼結体は、ステン

レス製の容器と Si_3N_4 粉砕ボールで得られた焼結体と比較し、熱電性能は約 1.7 倍になった。部分安定化ジルコニアによる粉砕焼結体は、熱電性能 ZT が 1.0 を超え、130rpm で粉砕し、350 焼結したサンプルは、最大熱電性能 1.16 (α : $295 \mu\text{V/K}$, σ : $4.16 \times 10^4 \text{ S/m}$, κ : 0.94 W/(m K)) が得られた。つまり熱電特性は、偏析した元素がキャリア添加元素として働くことを防ぐことにより、性能向上することが明らかになった。

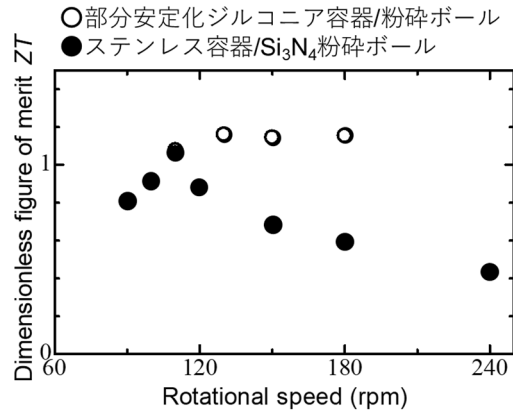


図7 異なる粉砕容器・粉砕ボールで得られた $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ 焼結体の粉砕速度に対する熱電性能依存性⑨

<引用文献>

- Rowe 編: Thermoelectrics Handbook (2006) CRC Press, ch. 1 を加筆
- K. Hasezaki, M. Nishimura, M. Umata, H. Tsukuda and M. Araoka: *Materials Transactions*, JIM, Vol. 35, No. 6, 428-432(1994).
- Terry M. Tritt: Thermal Conductivity Theory, Properties, and Applications, (Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 2004) pp. 124-125
- M. Kitamura, K. Hasezaki: *Materials Transactions*, Vol.57, No.12, 2153-2157 (2016)
- 青木昌治, 菅義夫: *応用物理*, Vol. 29, No. 6, 363-370 (1960)
- M. Kitamura, K. Hirota, K. Hasezaki: *Materials Transactions*, Vol. 59, No.8, 1225-1232(2018)
- K. Hirota, M. Kitamura, K. Takagi, K. Hasezaki: *Materials Transactions*, Vol. 59, No.8, 1233-1238(2018)
- K. Hirota, K. Takagi, K. Hanasaku, K. L. Hasezaki, H. Saito, S. Hata, K. Hasezaki: *Intermetallics*, Vol.109, 1-7(2019)
- M. Bumrungpon, K. Hirota, K. Takagi, K. Hanasaku, T. Hirai, I. Morioka, R. Yasufuku, M. Kitamura, K. Hasezaki: *Ceramics International*, Vol.46, 13869-13876(2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Bumrungpon Mongkol, Hirota Kenji, Takagi Katsuhiko, Hanasaku Kenichi, Hirai Toshiharu, Morioka Issei, Yasufuku Ryusuke, Kitamura Masato, Hasezaki Kazuhiro	4. 巻 46
2. 論文標題 Synthesis and thermoelectric properties of bismuth antimony telluride thermoelectric materials fabricated at various ball-milling speeds with yttria-stabilized zirconia ceramic vessel and balls	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 13869 ~ 13876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2020.02.180	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 Hirota Kenji, Takagi Katsuhiko, Hanasaku Kenichi, Hasezaki Kana L., Saito Hikaru, Hata Satoshi, Hasezaki Kazuhiro	4. 巻 109
2. 論文標題 Carbon observation by electron energy-loss spectroscopy and thermoelectric properties of graphite added bismuth antimony telluride prepared by mechanical alloying-hot pressing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.intermet.2019.03.005	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 Kitamura Masato, Hirota Kenji, Hasezaki Kazuhiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Relationships between Thermoelectric Properties and Milling Rotational Speed on $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ Thermoelectric Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1225 ~ 1232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MF201703	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 Hirota Kenji, Kitamura Masato, Takagi Katsuhiko, Hasezaki Kazuhiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Thermoelectric Behaviors of $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_{3.0}$ with Excess or Deficiency of Tellurium Prepared by Mechanical Alloying Followed by Hot Pressing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1233 ~ 1238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MF201704	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20件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Mongkol Bumrunpon, Ryusuke Yasufuku, Issei Morioka, Toshiharu Hirai, Kenichi Hanasaku, Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Influence of Starting Materials on Thermoelectric Properties of Undoped Lead Telluride by Hot Pressing
3. 学会等名 14th International Conference on Ecomaterials (ICEM14) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuhiro Hasezaki, Issei Morioka, Kenichi Hanasaku, Mongkol Bumrunpon, Toshiharu Hirai, Ryusuke Yasufuku
2. 発表標題 Comparison of Thermoelectric Properties for p-type Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0} by Metal and Ceramics Vessel
3. 学会等名 14th International Conference on Ecomaterials (ICEM14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折 仁、奈良 松範、長谷崎 和洋、磯田 幸宏、高井 淳治、多田 智紀、水戸 洋彦
2. 発表標題 環境発電を利用した防災・減災センサーの実現可能性に関する検討
3. 学会等名 第29回傾斜機能材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安福 隆亮、花咲 憲一、Mongkol Bumrunpon、平井 利治、森岡 竜誠、長谷崎 和洋
2. 発表標題 メカニカルアロイング-ホットプレス(MA-HP)法によるBi ₂ Te ₃ -Bi ₂ Se ₃ 熱電材料の組成依存性
3. 学会等名 第29回傾斜機能材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井 利治、Mongkol Bumrunpon、花咲 憲一、安福 隆亮、森岡 峯誠、長谷崎 和洋
2. 発表標題 粉末冶金法における熱電材料ZnSbの粉碎速度依存性
3. 学会等名 第29回傾斜機能材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷崎 和洋
2. 発表標題 排熱回収機能を有する熱電半導体およびその応用システムに関する研究
3. 学会等名 地域産業技術セミナー-関西広域連合公設試研究成果発表会-(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morioka Issei、Kazuhiro Hasezaki、Hanasaku Kenichi、Bumrunpon Mongkol、Hirai Toshiharu、Yasufuku Ryusuke
2. 発表標題 Influence of Milling Media on Thermoelectric Properties of Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0}
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 Bumrunpon Monkol、Morioka Issei、Hirai Toshiharu、Yasufuku Ryusuke、Hanasaku Kenichi、Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Inflection Point for Phonon Thermal Conductivity in Submicron Scale Grained Undoped PbTe by Mechanical Grinding-Hot Pressing
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 長谷崎 和洋
2. 発表標題 宇宙太陽光発電システムの可能性とその地上要素研究
3. 学会等名 日本化学会秋季事業第8回CSJ化学フェスタ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Bumrungpon Mongkol and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Lead Telluride Processed by Mechanical Grinding and Hot-Pressing Technique
3. 学会等名 The 10th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT-10) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Kusano, Minami Yusuke and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Thermal characteristics of energy cascade utilization system based on solar thermal power supply
3. 学会等名 15th International Symposium on Functionally Graded Materials (ISFGMs2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenichi Hanasaku and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Effects of Milling Rotational Speed on n-type Bi ₂ Te _{2.67} Se _{0.33} Thermoelectric Semiconductors
3. 学会等名 15th International Symposium on Functionally Graded Materials (ISFGMs2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田 健二, 北村 政人, 長谷崎 和洋
2. 発表標題 Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0} の熱電性能のTe添加依存性
3. 学会等名 第28回新構造・傾斜機能材料シンポジウム(FGMs2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirota Kenji, Kitamura Masato and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 High Thermoelectric Properties of Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0+x} (x: from -0.025 to 0.2) by Mechanical Alloying
3. 学会等名 15th European Conference on Thermoelectrics (ECT2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kitamura Masato, Hirota Kenji and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0} Depended on Milling Energy by Mechanical Alloying
3. 学会等名 15th European Conference on Thermoelectrics (ECT2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Hirota, Masato Kitamura, Kana L. Hasezaki, Hikaru Saito, Satoshi Hata and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Carbon Particle Dispersion in Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.1} Thermoelectric Semiconductor by Mechanical Alloying
3. 学会等名 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM 13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoya Hosoi and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Rotational speed dependence of thermoelectric material ZnSb
3. 学会等名 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM 13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kei Miyaoka and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Improvement of Thermoelectric Properties of PbTe by Mechanical Grinding
3. 学会等名 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM 13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Kitamura, Kenji Hirota and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Bi _{0.3} Sb _{1.7} Te _{3.0} Depended on Milling Energy
3. 学会等名 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM 13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Leona Isogai, Voravit Kosalathip, Taswal Kumpeerapum and Kazuhiro Hasezaki
2. 発表標題 PbTe Thermoelectric Thin Film Fabricated by Using CW CO ₂ Laser Ablation Technique
3. 学会等名 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM 13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

徳島大学/教育研究者総覧
<http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/262598/work-ja.html>

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