

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02576

研究課題名(和文) 極低熱伝導率化と低次元化による高い熱電性能を持つ新奇形状2次元ナノプレートの創出

研究課題名(英文) Creation of novel 2D nanoplatelets with high thermoelectric performance due to extremely low thermal conductivity and low dimensionality

研究代表者

高尻 雅之 (Takashiri, Masayuki)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：50631818

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：低次元熱電材料の格子熱伝導率を下げるために、ナノ粒子で装飾されたナノプレートの低次元ヘテロ構造を作製した。正六角形状の単結晶ビスマス-テルルナノプレートはソルボサーマル合成で作製した。次に、様々な濃度のスズ前駆体を用いた無電解めっきにより、スズナノ粒子をビスマス-テルルナノプレートの表面に装飾した。表面形状および組成分析により、ナノプレート表面にスズが存在することが確認された。錫ナノ粒子装飾ナノプレートの面内格子熱伝導率は、スズ濃度の増加とともに低下した。スズ濃度が90 mMの場合、格子熱伝導率は1.3 W/(m-K)となり、無電解めっきを施していないナノプレートに比べて約30%低下した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノプレートのような低次元材料は、ユニークな特性を持っている。熱電材料は、低次元効果を利用して格子熱伝導率を下げるため、この特性の恩恵を最も受けているものの一つである。本研究では、ナノプレート表面にスズを蒸着することで、フォノンの散乱やフォノン波の抑制により、フォノンの流れが減少し、格子熱伝導率を低減させることに成功した。これらの知見は、低次元ヘテロ構造材料の熱的特性を制御するための道を開くものである。

研究成果の概要(英文)：Low-dimensional heterostructures of nanoplates decorated with nanoparticles were fabricated to reduce the lattice thermal conductivity of low-dimensional thermoelectric materials. Regular hexagonal single-crystal bismuth-tellurium nanoplates were fabricated by solvothermal synthesis. Tin nanoparticles were then decorated on the surface of the bismuth-tellurium nanoplates by electroless plating using various concentrations of tin precursors. Surface morphology and composition analysis confirmed the presence of tin on the nanoplatelet surface. The in-plane lattice thermal conductivity of the tin nanoparticle decorated nanoplates decreased with increasing tin concentration. At a tin concentration of 90 mM, the lattice thermal conductivity was 1.3 W/(m-K), approximately 30% lower than that of the nanoplate without electroless plating.

研究分野：熱電変換材料

キーワード：熱伝導率 フォノン 低次元材料 結晶成長 ビスマステルル 無電解めっき ナノプレート ナノ粒子

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

近年、Society5.0における社会インフラが進行中である。これにより、人々はより快適で安全な生活が営むことができる。この社会インフラには多量かつ多品種のセンサが必要であり、そのセンサを動作させるための電源の確保が重要課題である。半永久的に、かつ災害による電力供給が停止した場合にもセンサが機能するには、自然界のエネルギーを利用する方法が最適である。自然界のエネルギー源として太陽光、熱、振動などがある。中でも熱を使った発電は出力が太陽光発電に比べて小さいが、昼夜を問わず比較的安定的にエネルギー供給が可能である。そこで考えられるのが熱エネルギーから電気エネルギーへの変換ができる熱電変換デバイスの活用である。

### 2. 研究の目的

熱電変換デバイスにおいて重要なことは、熱から電気への変換効率を高めることである。この変換効率は材料の無次元性能指数  $ZT$  に依存しており、 $ZT = \sigma S^2 T / (\kappa_e + \kappa_l)$  で表される。ここで、 $\sigma$  は電気伝導率、 $S$  はゼーベック係数、 $\kappa_e$  は電子熱伝導率、 $\kappa_l$  は格子（フォノン）熱伝導率である。 $ZT$  を高める確立した方法として以下の 3 から の 3 項目がある。

材料の低次元化による格子熱伝導率の低減

フォノンの粒子的性質を利用した格子熱伝導率の低減

フォノンの波動的な性質（共鳴など）を利用して格子熱伝導率を低減

項目 の低次元化とは 3 次元材料（バルク）を 2 次元（シート状）や 1 次元（ワイヤ状）にすることで格子熱伝導率を低減する。項目 では、フォノンの平均自由行程を 2 つの界面間の距離（粒径、層厚、ワイヤ系など）よりも小さくすることで、フォノン粒子の界面散乱により格子熱伝導率が減少する。項目 では、局所的にフォノン波を誘起する方法である。代表例はナノ孔、ナノピラー、ナノドットを薄膜表面（熱伝導体）に付加する構造であり、薄膜と付加構造の格子振動モードを共鳴・混成させることで、フォノン波の伝播を阻害する（= 格子熱伝導率の低減）。よって、本研究では ~ を組み合わせることで、格子熱伝導率の大幅な低減を目的とする。

### 3. 研究の方法

図 1 は錫ナノ粒子で装飾されたビスマステルル ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) ナノプレートの作製過程の模式図である。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ナノプレートはソルボサーマル法を用いて合成された。システムは、テフロン容器内蔵のステンレス製オートクレーブ、マグネチックスターラー付きホットプレート、ヒートブロックで構成されている。0.4 g のポリビニルピロリドン（PVP）をエチレングリコール（EG）（18 mL）に溶解し、これに  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ （20 mM）、 $\text{TeO}_2$ （70 mM） および 2 mL の NaOH 溶液（5.0 M）を添加した。作製した前駆体溶液をオートクレーブに封入した。次に、オートクレーブを加熱し、500 rpm で攪拌しながら、200 °C で 4 時間保持した。沈殿した生成物を室温まで冷却した。次に、生成物を遠心分離により回収し、蒸留水および絶対エタノールで数回洗浄した。

錫ナノ粒子で装飾された  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ナノプレートを得るために、無電解メッキとして変位析出法

を使用した。塩化スズ ( $\text{SnCl}_2$ ) と塩酸からなる溶液にナノプレートを浸し、 $\text{SnCl}_2$  の濃度を 30 ~ 90 mM、HCl の濃度を 0.66 M とし、メッキ時間を 10 分とした。その後、スズナノ粒子で装飾されたナノプレートをペーパーフィルターで回収し、脱イオン水で洗浄した。最後に、ナノプレートを 60 °C の真空下で 24 時間乾燥させた。ナノプレートの熱特性をできるだけ単一のナノプレートの状態に近い形で表現して評価するために、ナノプレートを 300 K で可能な限り低い圧力（0.4 ~ 5 GPa）でプレスした。サンプルサイズは、長さ 22 mm、幅 5 mm、厚さ約 0.6 mm である。熱拡散率はスポット周

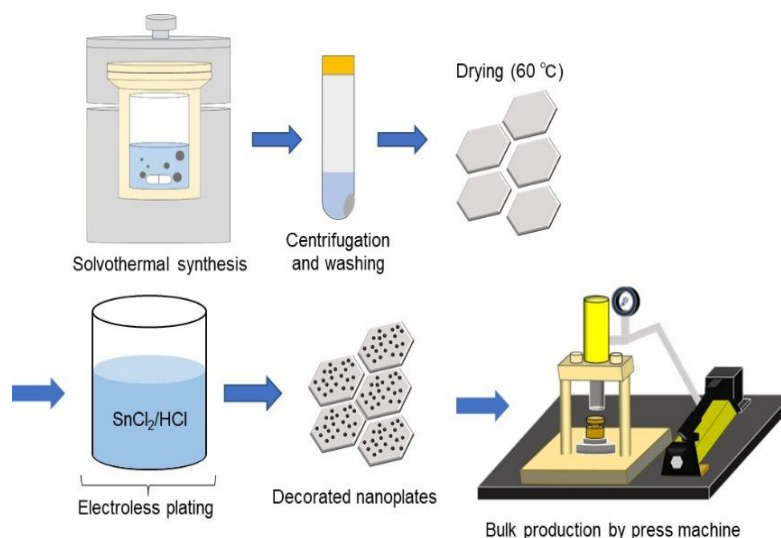


図 1  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ナノプレート、スズナノ粒子装飾ナノプレート、バルク形成ナノプレートの作製プロセスの模式図

期加熱放射温度計に基づく熱物性測定装置( Thermowave Analyzer , Bethel )を用いて測定した。位相遅れの周波数特性は、周波数変調法を用いて試料の厚さ方向に対して測定した。熱伝導率は、 $\kappa = \rho C$ で定義され、 $\rho$ は密度、 $C$ は比熱である。

#### 4 . 研究成果

図2は様々な SnCl<sub>2</sub> 濃度で作製した錫ナノ粒子装飾 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの表面形状の SEM 画像である。図2(a)では、無電解メッキを施していない Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの形状は、辺の大きさが約 1 μm の正六角形で、ナノプレートの表面は平坦化されていた。図2(b)に示すように SnCl<sub>2</sub> 濃度が 30 mM の場合、ナノプレート表面には数十ナノメートルの大きさのナノ粒子が散在していた。図2(c)に示すように SnCl<sub>2</sub> 濃度を 60 mM まで上げると、ナノ粒子の大きさは大きく変化しないが、ナノ粒子の密度は増加した。図2(d)に示すように SnCl<sub>2</sub> 濃度が 90 mM になると、ナノプレートの外周にメッキ層の析出が確認された。

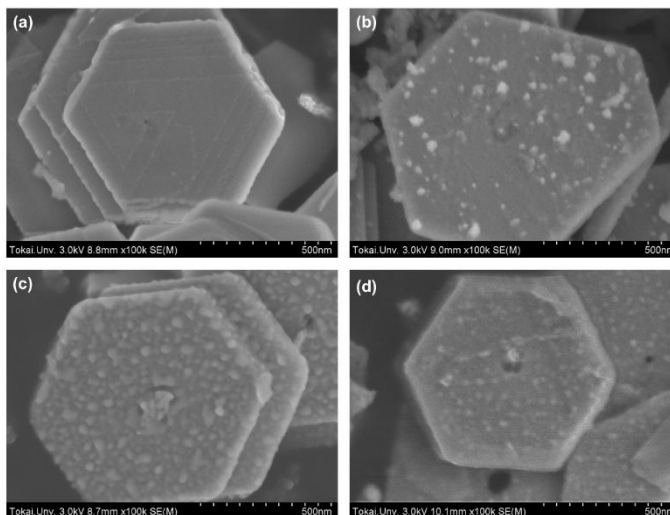


図2 様々な SnCl<sub>2</sub> 濃度で作製した錫装飾 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの表面形状 SEM 画像 (a) SnCl<sub>2</sub> なし、(b) 30 mM、(c) 60 mM、(d) 90 mM

様々な SnCl<sub>2</sub> 濃度で作製した錫ナノ粒子装飾 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの原子組成を表1に示す。無電解メッキを行わないナノプレートの原子組成は Bi と Te が 31.1 at.% と 58.9 at.% であり、これは化学量論比 (Bi : Te = 40 : 60) とは約 9% の差があった。SnCl<sub>2</sub> 濃度 30 mM で無電解メッキを行った場合、ナノプレートの組成は、Bi、Te、Sn が 32.6、66.5、0.9 at.% となった。このことから、無電解メッキによりスズがナノプレートに析出したことが示された。SnCl<sub>2</sub> 濃度を 60 mM にすると、Sn の原子組成は 1.8 at.% に増加した。さらに SnCl<sub>2</sub> 濃度を 90 mM まで増やすと、スズの原子組成は 2.2 at.% まで増加した。スズの原子組成の傾向は図2に示す SEM 画像と一致する。

表1 異なる SnCl<sub>2</sub> 濃度で無電解メッキを行った錫ナノ粒子装飾 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの原子組成比

SnCl <sub>2</sub> concentration [mM]	Atomic composition [at.%]		
	Sn	Bi	Te
0	0	31.1	68.9
30	0.9	32.6	66.5
60	1.8	35	63.2
90	2.2	33.6	64.2

図3は無電解メッキで SnCl<sub>2</sub> 濃度を変えたバルク形成錫ナノ粒子装飾 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの面内および厚さ方向の熱伝導率を示す。なお、無電解メッキを行わない Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの熱伝導率は、視覚的な便宜のために SnCl<sub>2</sub> 濃度を 0 mM としてプロットしている。図3(a)は全熱伝導率 ( $\kappa_{total}$ ) を示している。面内方向では、無電解メッキの SnCl<sub>2</sub> 濃度が 0 から 90 mM まで増加すると、全熱伝導率は 1.9 から 1.3 W/(m·K) まで低下した。一方、厚さ方向では、無電解メッキの SnCl<sub>2</sub> 濃度が 0 から 90 mM に増加しても、全熱伝導率は 0.3 から 0.4 W/(m·K) の範囲でほぼ同じであることが判明した。

図3(b)では、電気伝導度の測定値と Wiedemann-Franz 則を用いて、電子熱伝導度 ( $\kappa_{electronic}$ ) を算出した。ここで、Wiedemann-Franz 法則には、縮退半導体のローレンツ数  $2.45 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \Omega / \text{K}^2$  を使用した。無電解メッキを行わない場合、面内電子熱伝導率は  $8.8 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、厚さ方向の電子熱伝導率は  $1.1 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  となった。これらは、ナノプレートが加熱焼結されておらず、ナノプレート同士が融着していないため、電流経路が制限され、対応する全熱伝導率よりも著しく低い。また、膜厚方向の電子熱伝導率は、膜厚方向に多数 (数万オーダー) のナノプレートが積層されていることと Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの結晶面における電気伝導の異方性により、対応する膜面方向の電子熱伝導率よりも低くなった。SnCl<sub>2</sub> 濃度 30 mM で無電解メッキを行った場合、両方向の電子熱伝導率は急激に低下し、SnCl<sub>2</sub> 濃度の上昇とともに上昇した。SnCl<sub>2</sub> 濃度による電子熱伝導率の挙動は、Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの表面状態に関係していると考えられる。SnCl<sub>2</sub> 濃度 30 mM では、ナノプレート表面に錫ナノ粒子が析出しているが、錫ナノ粒子の密度は比較的低い。この状態では、突出したスズナノ粒子を介してナノプレート同士が接触し、その接触面積はナノ粒子を含まないナノプレートよりも小さく、電流経路が減少するため電子熱伝導率が低下する。一方、SnCl<sub>2</sub> 濃度を 60 mM と 90 mM にすると、スズナノ粒子の密度が高くなり、突出したスズナノ粒子を介したナノプレート間の接触が増え、電流経路が増加し、電子熱伝導率が向上したと考えられる。

図3(c)は、全熱伝導率から電子熱伝導率を差し引いた格子熱伝導率( $\kappa_{lattice}$ )である。電子熱伝導率が低いため、両方向の格子熱伝導率は、対応する全熱伝導率とほとんど同じであった。Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートに無電解メッキを施さなかった場合、面内格子熱伝導率は1.9 W/(m·K)、膜厚方向に格子熱伝導率は0.3 W/(m·K)となった。ここで、本研究で作製したBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートの格子熱伝導率を既報のBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>単結晶の格子熱伝導率と比較した。その値は  $a, b$  軸方向に1.3~2.3 W/(m·K)、 $c$  軸方向に0.6~1.4 W/(m·K)である。Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートの面内方向の格子熱伝導率は、 $a, b$  軸方向では単結晶Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>の範囲内であったが、膜厚方向の格子熱伝導率は $c$  軸方向の単結晶Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>の範囲より低いことがわかった。これは、多数のナノプレートが膜厚方向に積層され、ナノプレート間の累積接触熱抵抗が増加したためである。面内格子熱伝導率は、無電解メッキのSnCl<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて低下した。SnCl<sub>2</sub>濃度が90 mMの場合、格子熱伝導率は1.3W/(m·K)を示し、無電解メッキを行わないナノプレートと比較して約30%低下した。これは、ナノプレート表面にスズを蒸着することで、フォノンの流れが減少したことを示している。この現象はBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートとスズナノ粒子の界面でフォノン散乱が頻発したこと、Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートとスズナノ粒子の格子振動モードの共鳴・混成によりフォノン波の伝播が抑制されたことが原因と考えられる。現時点では、フォノン散乱の原因が、フォノンの粒子的性質によるものか、フォノンの波動的性質によるものかは不明である。フォノン散乱のメカニズムは、今後の試料作製や分析によって明らかにされる必要がある。膜厚方向では、SnCl<sub>2</sub>濃度を上げてても、格子熱伝導率は0.3~0.4 W/(m·K)と低い値を維持した。ナノプレート間の接触熱抵抗の寄与が、スズナノ粒子装飾ナノプレート表面でのフォノン散乱の寄与よりも大きいためである。

本研究による2次元ナノプレート表面の金属ナノ粒子装飾は、材料の格子熱伝導率を低減する有効な方法であることが示された。この結果は、低次元ヘテロ構造材料の熱的特性を制御する道を開くものである。

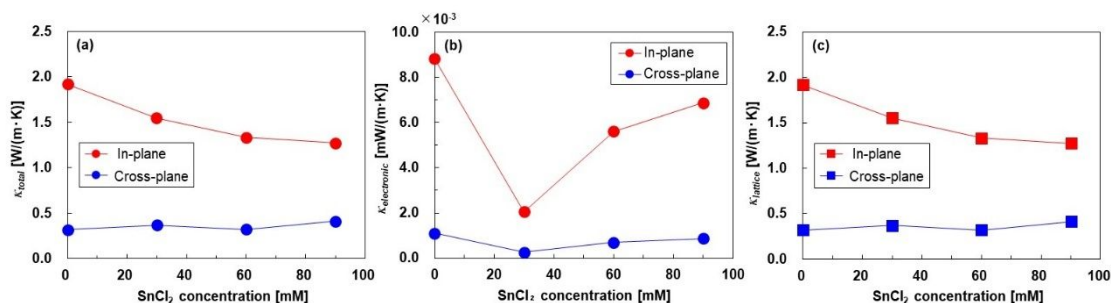


図3 異なるSnCl<sub>2</sub>濃度で無電解メッキを行ったバルク形成スズナノ粒子装飾Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>ナノプレートの面内および厚さ方向の熱伝導率 (a) 全熱伝導率、(b) 電子熱伝導率、(c) 格子熱伝導率

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuichi Ota, Hiromasa Namiki, Hideo Yamazaki, Ryota Konagaya, Susumu Yonezawa, Takafumi Komori, Masayuki Takashiri	4. 巻 60
2. 論文標題 Effect of Se incorporation on thermoelectric properties of Bi <sub>2</sub> (SexTe <sub>1-x</sub> ) <sub>3</sub> alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 70910
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac103a	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 Hideo Yamazaki, Rikuo Eguchi, Masayuki Takashiri	4. 巻 56
2. 論文標題 Investigation of phase transition from critical nucleus to Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> nanoplate based on screw dislocation-driven spiral growth by solvothermal synthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Research and Technology	6. 最初と最後の頁 2100153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/crat.202100153	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 Oga Norimasa, Masataka Hase, Ryotaro Mori, Mai Hayamizu, Hiroshi Murotani, Koji Miyazaki, Masayuki Takashiri	4. 巻 11
2. 論文標題 Determination of group velocity based on nanoindentation using Si and SiO <sub>2</sub> /Si wafers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 75216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0055581	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 O. Norimasa, M. Hase, M. Hayamizu, S. Nagata, S. Tanaka, S. Miyake, T. Nishi, H. Murotani, M. Takashiri	4. 巻 14
2. 論文標題 Phonon transport properties depending on crystal orientation analyzed by nanoindentation using single-crystal silicon wafers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 126502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac3544	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 Yuki Kimura, Ryotaro Mori, Susumu Yonezawa, Hayato Yabuki, Hiromasa Namiki, Yuichi Ota & Masayuki Takashiri	4. 巻 10
2. 論文標題 Solvothermal synthesis of n-type Bi <sub>2</sub> (SexTe <sub>1-x</sub> ) <sub>3</sub> nanoplates for high-performance thermoelectric thin films on flexible substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 6315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-63374-0	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 Takuya Kurokawa, Ryotaro Mori, Oga Norimasa, Tomoyuki Chiba, Rikuo Eguchi, Masayuki Takashiri	4. 巻 179
2. 論文標題 Influences of substrate types and heat treatment conditions on structural and thermoelectric properties of nanocrystalline Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> thin films formed by DC magnetron sputtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 109535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109535	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 Akihiro Kobayashi, Ryota Konagaya, Saburo Tanaka, Masayuki Takashiri	4. 巻 313
2. 論文標題 Optimized structure of tubular thermoelectric generators using n-type Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> and p-type Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> thin films on flexible substrate for energy harvesting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A	6. 最初と最後の頁 112199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2020.112199	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 B. Lorenzi, Y. Tsurimaki, A. Kobayashi, M. Takashiri, S. V. Boriskina	4. 巻 28
2. 論文標題 Self-powered broadband photo-detection and persistent energy generation with junction-free strained Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 27644-27656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.399040	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 R. Eguchi, H. Yamamuro, M. Takashiri	4. 巻 714
2. 論文標題 Enhanced thermoelectric properties of electrodeposited Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> thin films using TiN diffusion barrier layer on a stainless-steel substrate and thermal annealing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2020.138356	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 H. Yabuki, S. Yonezawa, R. Eguchi, M. Takashiri	4. 巻 10
2. 論文標題 Flexible thermoelectric films formed using integrated nanocomposites with single-wall carbon nanotubes and Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> nanoplates via solvothermal synthesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 17031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-73808-4	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 Oga Norimasa, Takuya Kurokawa, Rikuo Eguchi and Masayuki Takashiri	4. 巻 11
2. 論文標題 Evaluation of Thermoelectric Performance of Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> Films as a Function of Temperature Increase Rate during Heat Treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/coatings11010038	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5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 H. Yamazaki, M. Takashiri
2. 発表標題 Metal decoration on bismuth telluride nanoplates using electroless plating
3. 学会等名 MNC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Takashiri
2. 発表標題 Thermal conductivity of layered Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> nanoplates
3. 学会等名 M. Takashiri TCTFN2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. Norimasa, M. Hase, M. Hayamizu, H. Murotani, M. Takashiri
2. 発表標題 Evaluation of thermal transport properties of single crystal silicon with different crystal orientation by nanoindentation method
3. 学会等名 MNC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 則正雄賀、長谷匡高、速水舞、室谷裕志、宮崎康次、高尻雅之
2. 発表標題 ナノインデンテーション法を用いたシリコンの熱輸送特性の測定
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 則正雄賀、長谷匡高、速水舞、室谷裕志、宮崎康次、高尻雅之
2. 発表標題 ナノインデンテーション法を用いたシリコンの熱輸送特性の測定
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東海大学工学部材料科学科第2研究室「環境エネルギー材料研究室」  
<http://www.er.u-tokai.ac.jp/takashiri/index.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
研究分担者	田中 三郎  (Tanaka Saburo)  (30713127)	日本大学・工学部・准教授    (32665)	
研究分担者	宮崎 康次  (Miyazaki Koji)  (70315159)	九州大学・工学研究院・教授    (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
---------	---------