

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H00853

研究課題名(和文)フォノン・電子輸送制御したDirac電子超格子の創製とSi系熱電デバイス開発

研究課題名(英文)Development of Si-based Dirac electron superlattice and its thermoelectric devices based on phonon and electron transport physics

研究代表者

中村 芳明(Nakamura, Yoshiaki)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：60345105

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Si系層状物質CaSi₂を模倣し、フォノンモード・電子状態の空間制御を施した新規Ca-Si_{1-x}Ge_x系人工層状超格子を創造する。それにより二次元ディラック電子状態による高出力因子、フォノン閉じ込めによる究極低熱伝導率を達成し、Si系の薄膜熱電材料・デバイスを開発することを目的とした。人工層状超格子形成に向けて、Ca-IV族元層状薄膜の形成技術開発を行った。その後、性能を詳細に調べた結果、予想とは異なり、原子変位を起こしたCa-人工層状超格子が高性能を示すことを見出した。これは学術的に興味深く、さらに応用に資する高性能Si系薄膜熱電デバイス実現にも大きく貢献する結果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoT独立電源として、低温廃熱用の軽量・小型であるSi系の薄膜熱電デバイスが注目を浴びている。高い熱電変換効率を得るには、熱伝導率低減と熱電変換出力因子の増大の同時実現が必要であるが、それらには相関があり難しい。本研究では、Dirac分散とフォノン閉じ込めに期待し、Si系の層状物質であるCa-SiGe系人工層状物質の開発に注目した。研究を行った結果、予想以上の高性能が得られ、興味深いことに、これはシリセンのSi原子位置が変位していることに起因することがわかってきた。この発見は、学術的には新しく、興味深いだけでなく、Si系材料として社会応用の可能性が期待できるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we are aiming at developing the group IV element-based layered materials for the Si-based thermoelectric materials and its devices. Therein, 2-dimensional Dirac electron and phonon confinement can be expected, which are related to high power factor and low thermal conductivity.

We succeeded in development of epitaxial growth technique of various group IV element-based layered materials on Si substrates. From the thermoelectric properties of these materials, we got ultra-high thermoelectric performance of layered materials. Unexpectedly, materials with high performance have atomic displacement of Si atoms in silicene. This founding exhibits high scientific impact and opens a road to Si-based thermoelectric materials and devices.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：シリコン ナノ構造 フォノン 分子線エピタキシー

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

廃熱を熱電変換により再利用しようという試みが盛んに行われている。その中で低温廃熱 (<200°C) は廃熱全体の約7割という莫大な量を占めるが、低温の熱電変換効率が低いことため回収電力が小さく、その再利用は困難とされてきた。しかし、近年のセンサは低消費電力動作し、熱電発電は自立電源となることから、この莫大な低温廃熱を IoT 用センサ電源に利用することが期待され、現在、デジタル素子・センサと融合したワンチップ電源の実現を目指し、高い熱電変換効率を有する環境調和型 Si 基板上熱電薄膜の開発が盛んに行われている。

熱電変換効率は、無次元性能指数 ZT の単調増加関数で表され、 ZT はゼーベック係数 S 、電気伝導率 σ 、熱伝導率 κ 、絶対温度 T を用いて、 $S^2\sigma T / \kappa$ として表記でき、 $S^2\sigma$ は出力因子となる。一般にこの物性値 S 、 σ 、 κ には相関があり、 ZT 増大が難しい。通常、 ZT 向上のためにレアメタルなどの重い元素材料を用いて κ を低減するアプローチがとられる。しかし、重い元素材料は、コストに加え、資源の希少さ、毒性などの点で環境調和性に乏しい。一方、材料的ニーズを満たす Si のような環境調和性の高い材料は、一般に、高い κ を示し、低性能となる。最近では、二次元材料で高い熱電出力因子が得られることが報告されている。しかし、そこには熱伝導率低減の機構がない。

研究代表者は、今まで確立してきたナノ構造形成技術・Si プロセス技術を駆使して、二次元層状物質 CaSi_2 を模倣した Si・SiGe 系二次元シートを含有する新規 Ca-SiGe 系人工層状超格子に注目した。この新規超格子においては、二次元的にコヒーレントに広がった超高移動度ディラック電子状態と、空間局在した界面フォノンモードによる極小フォノン平均自由行程状態を同時に実現し、長年の課題であった3熱電物性の独立制御（電気伝導率増大、ゼーベック係数増大、熱伝導率低下）が期待できる。本研究では、この超格子を実現して、今まで利用できなかった低温廃熱の回収を目的とした高性能の環境調和型 Si 系熱電薄膜材料とそのデバイスを開発することを提案する。

2. 研究の目的

本研究では、代表者が確立したナノ構造形成技術を応用することで、Si 系層状物質 CaSi_2 を模倣し、フォノンモード・電子状態の空間制御を施した新規 $\text{Ca-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系人工層状超格子を創造する。それにより二次元ディラック電子状態による高出力因子、フォノン閉じ込めによる究極低 κ を達成し、高熱電性能のユビキタス元素 Si 系熱電薄膜/Si 基板の創製とその薄膜熱電デバイスを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

人工層状超格子をつくるには異なる Ca-Si 系シート層を積層したヘテロ構造の形成が必要であり、このシート薄膜の形成条件を詳細に調べる必要がある。具体的には、(1) - (3) を行い、薄膜形成技術を開発し、最適な人工層状超格子を提案する。まず、重要なのは、形成前の表面状態の依存性である。あと、混晶化することで劣化しやすくなることが予想されるので、劣化防止層の挿入も検討する。次に、膜厚を自在に制御できる新しい形成法を開発し、その技術を発展させて、IV 族元素を置換した Ca-IV 族元素シート薄膜の形成技術を開発する。これらの薄膜の熱電特性を測定し、高性能の薄膜構造の提案・開発を行う。

- (1) 基板表面状態・キャッピングが Ca-Si 系シート薄膜/Si 基板に与える影響の調査
- (2) 膜厚の自在制御可能な Ca-Si 系シート薄膜/Si 基板の形成技術開発
- (3) 人工層状超格子形成に向けた Ca-IV 族元素シート薄膜の成長技術開発
- (4) 高性能薄膜構造の提案と作製

4. 研究成果

(1) 表面状態制御した基板上的 CaSi_2

中村らは、水素終端 Si 基板表面上に CaSi_2 薄膜が再現性よく形成できることを見出している。今回、ヘテロ構造が基礎となる人工層状物質を形成するために、様々な形成条件が CaSi_2 形成に与える影響を調べた。まず Si 基板の清浄表面、Si 基板の水素終端表面・極薄 SiO_2 薄膜表面を用意し、その上に Ca を室温で蒸着した後、基板の Si と反応させることで固相成長して CaSi_2 を形成した。その Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED) 図形を図1に示す。Si (111) -7×7 清浄表面、水素終端 Si (111) -1×1 表面、極薄酸化膜のアモルファス表面が観測される。その後、Ca を室温で蒸着して 500°C で固相成長すると、すべての試料において 2×1 再構成表面を表す RHEED 図形が観察された。これにより、表面状態に限らず CaSi_2 が形成されたと考えられる。次に、結晶性の良い水素終端表面上 (HT- CaSi_2) と清浄表面上 (CL- CaSi_2) に形成

したCaSi₂に注目して、詳細に熱電特性の違いを調べた。その結果を図2に示す。移動度と電気伝導率のキャリア密度依存性を見ると、表面状態に関係なく、同じ傾向であり、また移動度の計算結果(△)とおおよそ一致する。一方、ゼーベック係数は、両試料はおおよそ似た値になっている。したがって、傾向としては、薄膜を形成する表面状態に対する熱電特性の依存性はないように思われる。一方、形成されるキャリア密度は異なる。水素終端表面上の薄膜のほうが、清浄表面上の薄膜よりキャリア密度が小さいことがわかる。CaとSiの組成比が異なることにより、フェルミレベルが異なるという理由が単純に考えられる。そこで、XPSにより得られたCaとSiの積分強度比の深さプロファイルを図3aに示す。この結果より、水素終端上に形成したほうがCa/Siが小さくなっていることがわかる。これは図3bに示すように、CaやSiの相互拡散が小さくなり、それに伴うCaSi₂形成よりCaの表面脱離のほうが相対的に大きな効果をもたらして、Ca/Si比が小さくなったと考えることができる。この機構で電子を供給するCaが少なくなったことにより、水素終端上のCaSi₂薄膜のキャリア密度は清浄表面上のCaSi₂薄膜より小さくなったと思われる。その結果、フェルミレベル制御が可能となり、出力因子の最適化ができた(図2(c))と考えられる。組成比がフェルミレベル制御の鍵を握るとすると、表面制御ではなく、Caの蒸着温度を緻密に制御することで、同様の制御が可能であると考えられる。

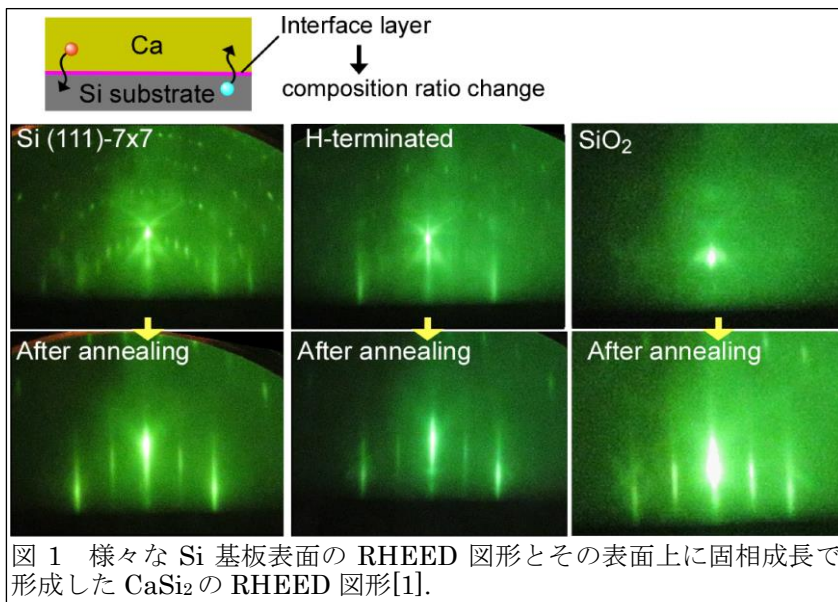


図1 様々なSi基板表面のRHEED図形とその表面上に固相成長で形成したCaSi₂のRHEED図形[1].

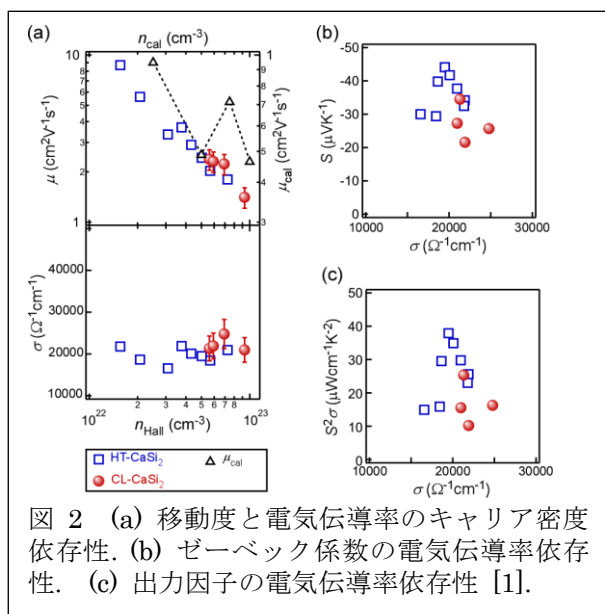


図2 (a) 移動度と電気伝導率のキャリア密度依存性. (b) ゼーベック係数の電気伝導率依存性. (c) 出力因子の電気伝導率依存性 [1].

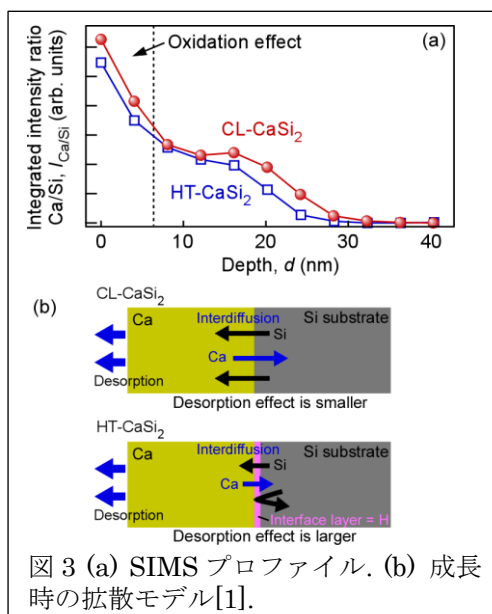


図3 (a) SIMSプロファイル. (b) 成長時の拡散モデル[1].

一方、Ca-SiGe系シート薄膜は大気中での劣化が激しいことが予想される。そこで、様々なキャップ層を形成し、劣化防止を試みた。その例としてアモルファスSiキャップを10nm形成した例を図4に示す。キャップなしより劣化防止できていることがわかる。また、アモルファスSi形成しても熱電特性が変わらないことを確認した。キャップ層をすべての試料に形成することが有用であるとわかった。

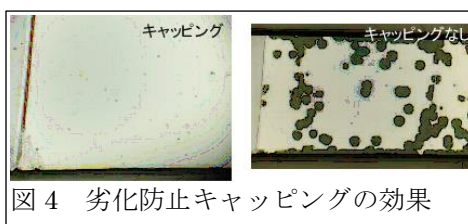


図4 劣化防止キャッピングの効果

(2) 膜厚の自在制御可能な同時蒸着固相成長法の開発

人工超格子を形成するには、形成する層の膜厚を自在に制御する必要がある。しかし、Caと

下地 Si との相互拡散を利用した固相成長では、拡散長がその厚みを決定するため、厚みの制御性が低い。そこで、Ca と Si を同時蒸着した後に加熱する固相成長法の開発を行うこととした。この手法で Si 基板に形成した薄膜の RHEED 図形を図 5 に示す。蒸着量を増やしても同様の RHEED 図形が観察され CaSi_2 が形成されていることがわかる。X 線回折法 (XRD) によって、 CaSi_2 がエピタキシャル成長していることが確認された。膜厚を測定したところ、この手法で、200nm 程度の薄膜は形成できた。このことから、今までに開発した Ca と Si 基板との相互拡散では、おおよそ 20-30nm の薄膜しか形成できなかったが、この手法では、通常の薄膜と同程度の膜厚をもつ CaSi_2 が自在に形成できることが確認できた。

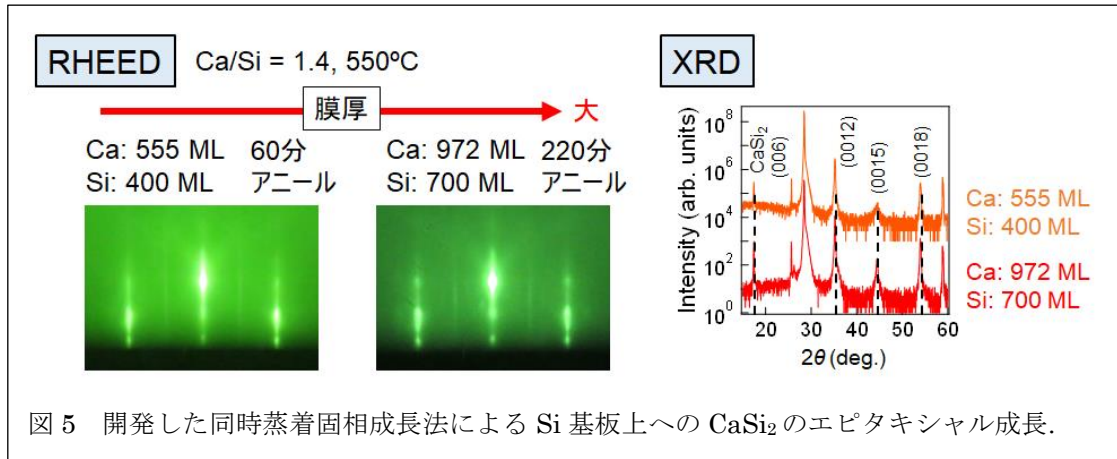


図 5 開発した同時蒸着固相成長法による Si 基板上への CaSi_2 のエピタキシャル成長。

次に、この薄膜の熱電特性を測定した (図 6)。同時蒸着固相成長法で形成した薄膜は、先行研究の固相成長法の結果よりキャリア密度が高いほうにばらつくため、電気伝導率は高くなっているが、以前の手法で形成したものとゼーベック係数の電気伝導率依存性自体は同様であった。(1) の結果から、Ca/Si の組成がずれてフェルミレベルがシフトしている結果だと考えられる。膜厚が大きいと加熱した固相成長している際に、Ca の表面拡散と表面からの脱離の減少が複雑に絡み合っ、組成制御が難しくなることに由来すると考えられる。今回 Ca と Si の蒸着比は 1.4 程度とした Ca リッチ条件から始めているので、膜厚が多いほど、表面からの脱離が抑えられ、キャリア密度が多くなっていると解釈することができる。

この結果、薄膜を薄くしたほうが高性能となっている。そこで、 CaSi_2 を形成したのち、Si キャップを施してアニールすることにした。これは、Ca の脱離をマイルドに引き起こすことで、

組成制御性を高めることを狙った。その結果、Ca 脱離のために、 CaSi_2 は極薄の薄膜となった。その物性は興味深く、キャリア密度 $4-6 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ で $S = 60-70 \mu\text{VK}^{-1}$ 、すなわち出力因子が $\gg 60 \mu\text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-2}$ となった。この異常な高性能は、キャリア密度の変化だけでは説明できず、膜厚を薄くすることで、膜質が異なる CaSi_2 ができたと思われる。ただし、この原因説明については今後の課題である。

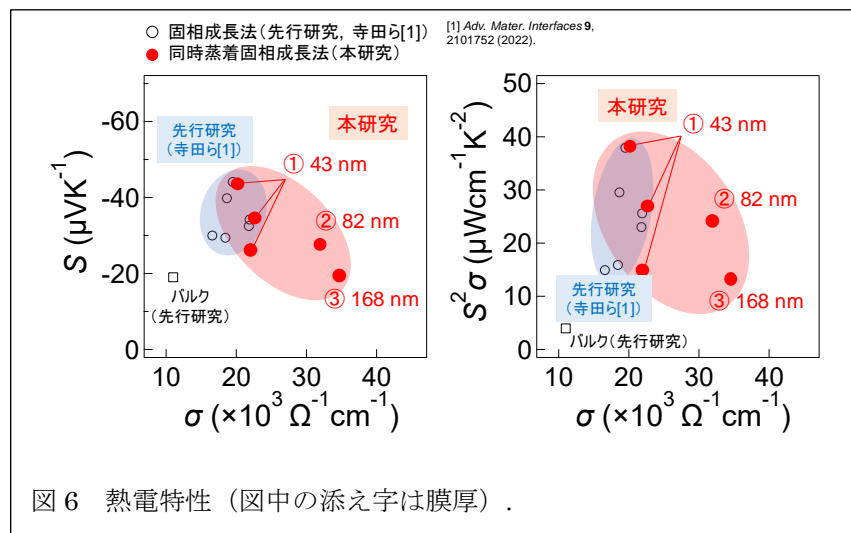


図 6 熱電特性 (図中の添え字は膜厚) .

(3) 人工層状超格子形成に向けた Ca-IV 族元素シート薄膜の成長技術開発

超格子形成に向けて二次元シートを形成する IV 族元素の Si を様々な IV 族元素に変えた Ca-IV 族元素二次元シートを形成することを目指した。一般に CaSiGe は形成の報告があるため、まず、前人未踏の Ca-Sn 系二次元シートの形成を目指した。作製手法を以下に述べる。まず、Si の清浄表面に Sn を蒸着する。その後、Ge を蒸着し、最後に Ca を蒸着して固相成長を行うという手順で実験を行った。これは、Sn は大きな原子であるため、アニールしている際に表面に偏析すると考え、Ge より下層に Sn を挿入した。また、Ca と Ge が相互拡散で CaGe_2 が形成できるのは、以前に代表者によって確認されている。そこで、 CaGeSn の形成を目指した結果を図 7 に示す。

ここでは、参考のために CaGe_2 薄膜も形成した。RHEED 図形において、 CaGe_2 は先行研究と同様に $1/3$ の位置に相当するストリークのピークが観測された。一方、 CaGeSn において、同じ $1/3$ ピークが現れたが、ピークはぼやけていることがわかった。Atomic force microscopy (AFM) を用いて、表面形状を調べた結果、 CaGe_2 は薄膜形成しているが、 CaGeSn では、アイランド成長したことがわかる。面白いことに、そのアイランド高さを調べると、 160nm 、 250nm 程度の高さのものしか存在しなかった。アイランド高さに magic number が存在しているように見えるのは興味深い。

次に、図 8 に示すように XRD 測定を行った。 CaGe_2 において観測されるべき回折角あたりにピークが観測された。これは、 CaGe_2 と格子定数が少し異なるが、 CaGeSn は同じ結晶構造であることがうかがえる。そこで、 c 軸の格子定数を XRD から調べたところ、 Sn の仕込み量に依存して c 軸長が伸びていることが分かった。また極点図をとることで、エピタキシャル成長していることが確認された。EDX で組成分析をしたところ、このアイランドは Ge と Sn と Ca で構成されることがわかり、アイランド間は Si 表面であることがわかった。これらのことから前人未踏の Ca-GeSn シートである単結晶 CaGeSn を初めて形成することに成功したといえる。

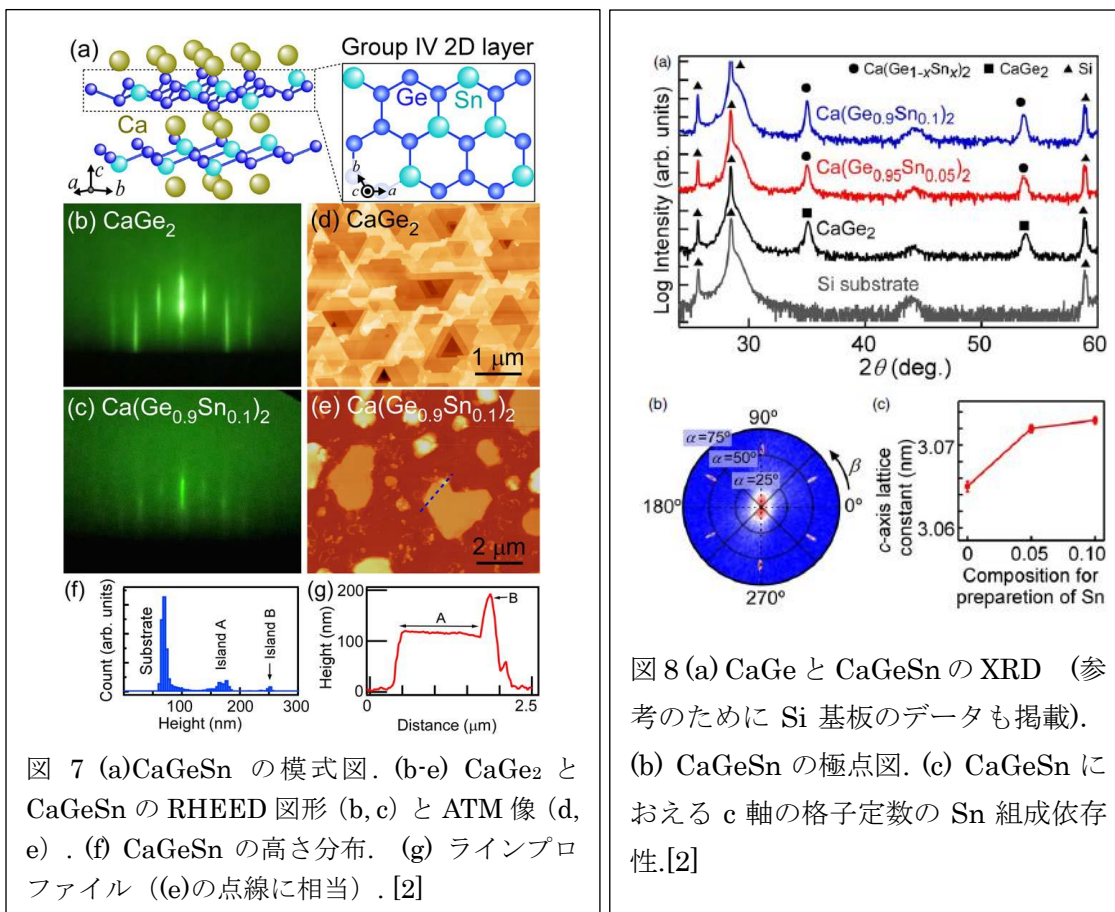


図 7 (a) CaGeSn の模式図. (b-e) CaGe_2 と CaGeSn の RHEED 図形 (b, c) と AFM 像 (d, e). (f) CaGeSn の高さ分布. (g) ラインプロファイル ((e)の点線に相当). [2]

図 8 (a) CaGe と CaGeSn の XRD (参考のために Si 基板のデータも掲載). (b) CaGeSn の極点図. (c) CaGeSn における c 軸の格子定数の Sn 組成依存性.[2]

(4) 高性能薄膜構造の提案と作製

人工層状超格子として、より高性能な構造を検討する。(2)の従来予想を超える高いゼーベック係数の発現は学術的に大きな意味を持つものである。これは薄い CaSi_2 薄膜であると考えられる。本研究の結果から、高性能の構造として、この薄い CaSi_2 層を導入する人工層状超格子を提案するに至った。また、この高性能な薄い CaSi_2 を自在に形成できるようになったのは大きな研究成果といえる。一方で、この高性能を引き出す機構を明らかにするのは、学術的に大きな意味を持つと考えられる。そして、さらなる高性能熱電層状物質を生み出すヒントになるものである。そこで、この薄膜の構造を透過電子顕微鏡法により緻密に調べた結果、シリコン原子が通常的位置から変位していることが分かった。したがって、当初の予想とは異なり、原子変位を誘起する層状物質が前人未踏の層状物質を創出するための基軸になるものであることを本研究により発見した。

参考文献

- [1] T. Terada, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, SD1004 (2023).
- [2] T. Yoshizaki, et al., Appl. Phys. Express 17, 055501 (2024).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Yukawa Yuri, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 140
2. 論文標題 Thermoelectric properties of B-doped nanostructured bulk diamond with lowered thermal conductivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 110410 ~ 110410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2023.110410	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 Ishibe Takafumi, Komatsubara Yuki, Ishikawa Kodai, Takigawa Sho, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Yamashita Yuichiro, Ohishi Yuji, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Boosting Thermoelectric Performance in Epitaxial GeTe Film/Si by Domain Engineering and Point Defect Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 26104 ~ 26110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.3c01404	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 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Fujita Takeshi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Temperature dependences of thermoelectric properties of bulk SiGeAu composites	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JJAP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011001 ~ 011001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.56646/jjapcp.10.0_011001	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 Ishibe Takafumi, Komatsubara Yuki, Katayama Toranosuke, Yamashita Yuichiro, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Hattori Azusa N., Tanaka Hidekazu, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 122
2. 論文標題 Interface design of transparent thermoelectric epitaxial ZnO/SnO ₂ multilayer film for simultaneous realization of low thermal conductivity and high optical transmittance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 41603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0124814	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 Terada Tsukasa, Ishibe Takafumi, Kobayashi Eiichi, Sato Kazunori, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 62
2. 論文標題 The effect of interdiffusion during formation of epitaxial Ca intercalated layered silicene film on its thermoelectric power factor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SD1004 ~ SD1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aca258	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 Ishibe Takafumi, Okuhata Ryo, Kaneko Tatsuya, Yoshiya Masato, Nakashima Seisuke, Ishida Akihiro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 4
2. 論文標題 Heat transport through propagon-phonon interaction in epitaxial amorphous-crystalline multilayers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 153.1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-021-00653-w	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 Terada Tsukasa, Ishibe Takafumi, Katayama Toranosuke, Sato Kazunori, Nguyen Tien Quang, Nakano Hideyuki, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Thermoelectric power factor enhancement of calcium-intercalated layered silicene by introducing metastable phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115505 ~ 115505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac2a57	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 Terada Tsukasa, Uematsu Yuto, Ishibe Takafumi, Naruse Nobuyasu, Sato Kazunori, Nguyen Tien Quang, Kobayashi Eiichi, Nakano Hideyuki, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Giant Enhancement of Seebeck Coefficient by Deformation of Silicene Buckled Structure in Calcium Intercalated Layered Silicene Film	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials Interfaces	6. 最初と最後の頁 2101752 ~ 2101752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admi.202101752	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 Terada Tsukasa, Kitaura Reona, Ishigaki Shintaro, Ishibe Takafumi, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Asahi Ryoji, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 236
2. 論文標題 Seed-assisted epitaxy of intermetallic compounds with interface-determined orientation: Incommensurate Nowotny chimney-ladder FeGe epitaxial film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118130 ~ 118130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118130	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 Ishibe Takafumi, Kaneko Tatsuya, Uematsu Yuto, Sato-Akaba Hideo, Komura Motonori, Iyoda Tomokazu, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 22
2. 論文標題 Tunable Thermal Switch via Order-Order Transition in Liquid Crystalline Block Copolymer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 6105 ~ 6111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.2c01100	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 Sakane Shunya, Miwa Shunichiro, Miura Tatsuki, Munakata Kazuki, Ishibe Takafumi, Nakamura Yoshiaki, Tanaka Hideki	4. 巻 7
2. 論文標題 Thermoelectric Properties of PEDOT:PSS Containing Connected Copper Selenide Nanowires Synthesized by the Photoreduction Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 32101 ~ 32107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c03335	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 Ishibe Takafumi, Chikada Jinichiro, Terada Tsukasa, Komatsubara Yuki, Kitaura Reona, Yachi Suguru, Yamashita Yudai, Sato Takuma, Suemasu Takashi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 119
2. 論文標題 Low thermal conductivity of complex thermoelectric barium silicide film epitaxially grown on Si	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 141603 ~ 141603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0063531	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 Komatsubara Yuki、Ishibe Takafumi、Miyato Yuji、Sakane Shunya、Nakamura Yoshiaki	4. 巻 118
2. 論文標題 Direct mapping of temperature-difference-induced potential variation under non-thermal equilibrium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 091605 ~ 091605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0038363	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 Taniguchi Tatsuhiko、Terada Tsukasa、Komatsubara Yuki、Ishibe Takafumi、Konoike Kento、Sanada Atsushi、Naruse Nobuyasu、Mera Yutaka、Nakamura Yoshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Phonon transport in the nano-system of Si and SiGe films with Ge nanodots and approach to ultralow thermal conductivity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 4971 ~ 4977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR08499A	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 Sakane Shunya、Ishibe Takafumi、Mizuta Kosei、Fujita Takeshi、Kiyofuji Yuga、Ohe Jun-ichiro、Kobayashi Eiichi、Nakamura Yoshiaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Anomalous enhancement of thermoelectric power factor by thermal management with resonant level effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 4851 ~ 4857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TA08683E	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 Taniguchi Tatsuhiko、Ishibe Takafumi、Hosoda Ryoya、Wagatsuma Youya、Alam Md. Mahfuz、Sawano Kentarou、Uenuma Mutsunori、Uraoka Yukiharu、Yamashita Yuichiro、Mori Nobuya、Nakamura Yoshiaki	4. 巻 117
2. 論文標題 Thermoelectric Si _{1-x} Ge _x and Ge epitaxial films on Si(001) with controlled composition and strain for group IV element-based thermoelectric generators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 141602 ~ 141602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0023820	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 Mitarai Kosuke, Okuhata Ryo, Chikada Jinichiro, Kaneko Tatsuya, Uematsu Yuto, Komatsubara Yuki, Ishibe Takafumi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 128
2. 論文標題 An advanced 2 method enabling thermal conductivity measurement for various sample thicknesses: From thin films to bulk materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 015102 ~ 015102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007302	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 Taniguchi Tatsuhiko, Ishibe Takafumi, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Alam Md. Mahfuz, Sawano Kentarou, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 12
2. 論文標題 High Thermoelectric Power Factor Realization in Si-Rich SiGe/Si Superlattices by Super-Controlled Interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 25428 ~ 25434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c04982	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 Uematsu Yuto, Terada Tsukasa, Sato Kento, Ishibe Takafumi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Low thermal conductivity in single crystalline epitaxial germanane films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 055503 ~ 055503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab8726	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 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Taniguchi Tatsuhiko, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Fujita Takeshi, Alam Md. Mahfuz, Sawano Kentarou, Mori Nobuya, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Thermoelectric power factor enhancement based on carrier transport physics in ultimately phonon-controlled Si nanostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Today Energy	6. 最初と最後の頁 56 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtener.2019.04.014	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 Terada Tsukasa, Ishibe Takafumi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 690
2. 論文標題 Modulation of lattice constants by changing the composition and strain in incommensurate Nowotny chimney-ladder phase FeGe epitaxially grown on Si	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121470 ~ 121470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2019.121470	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 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Hinakawa Takahiro, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Mahfuz Alam Md., Sawano Kentarou, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 115
2. 論文標題 High thermoelectric performance in high crystallinity epitaxial Si films containing silicide nanodots with low thermal conductivity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 182104 ~ 182104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126910	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 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Taniguchi Tatsuhiko, Hinakawa Takahiro, Hosoda Ryoya, Mizuta Kosei, Alam Md. Mahfuz, Sawano Kentarou, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Nanostructural effect on thermoelectric properties in Si films containing iron silicide nanodots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFB01 ~ SFFB01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5b58	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 Sakane Shunya, Ishibe Takafumi, Mizuta Kosei, Kashino Masato, Watanabe Kentaro, Fujita Takeshi, Kamakura Yoshinari, Mori Nobuya, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 3
2. 論文標題 Methodology of Thermoelectric Power Factor Enhancement by Nanoscale Thermal Management in Bulk SiGe Composites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1235 ~ 1241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b02340	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 Ishibe Takafumi, Maeda Yoshiki, Terada Tsukasa, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Kobayashi Eiichi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 21
2. 論文標題 Resistive switching memory performance in oxide hetero-nanocrystals with well-controlled interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 195 ~ 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2020.1736948	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 Ishibe Takafumi, Uematsu Yuto, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 116
2. 論文標題 Impact of metal silicide nanocrystals on the resistance ratio in resistive switching of epitaxial Fe304 films on Si substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 181601 ~ 181601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5143960	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 -

〔学会発表〕 計123件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 28件)

1. 発表者名 平田 悠海、堀田 亮輔、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 Si系ナノドット含有エピタキシャルGe薄膜のナノドットサイズと熱伝導率の関係
3. 学会等名 第44回 日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上月 聖也、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 自立型IoTセンサ電源応用に向けたエピタキシャルGeTe薄膜/Siの熱電特性
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第2回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉崎 高士、小島 幹央、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルCaSi ₂ 薄膜/Siにおける構造と熱電特性の関係
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第2回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takashi Yoshizaki, Mikio Kojima, Takafumi Ishibe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Epitaxial growth of CaSi ₂ thick film on Si substrate and its thermoelectric properties
3. 学会等名 Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Yuichiro Yamashita, Yuji Ohishi, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 High thermoelectric properties in epitaxial GeTe thin film by defect control
3. 学会等名 Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上松 悠人、石部 貴史、間野高明、大竹晃浩、中村 芳明
2. 発表標題 AlGaAs/GaAs系二次元電子ガスにおける多数サブバンドによる熱電出力因子向上
3. 学会等名 第20回日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石部 貴史、成瀬 延康、目良 裕、山下 雄一郎、大石 佑治、 中村 芳明
2. 発表標題 Ge空孔量制御したエピタキシャルGeTe薄膜/Siの熱電特性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北浦 怜旺奈、石部 貴史、水口 将輝、中村 芳明
2. 発表標題 巨大横ゼーベック係数獲得へ向けたエピタキシャルFe ₃ Si薄膜/Siの組成比制御
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上松 悠人、石部 貴史、間野高明、大竹晃浩、中村 芳明
2. 発表標題 AlGaAs/GaAs系二次元電子ガスにおける熱電出力因子制御
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平田 悠海、堀田 亮輔、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルSi系ナノドット含有Ge薄膜/Siによる熱伝導率の低減
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上月 聖也、小松原 祐樹、石部 貴史、中村 芳明、岩本 耕典、上沼 睦典、浦岡 行治
2. 発表標題 電子状態制御したZnOナノワイヤ含有薄膜の高移動度化とデバイス応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上松 悠人、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 層状物質GeHの面直方向熱伝導率評価
3. 学会等名 第7回フォノンエンジニアリング研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南 鼓太郎、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 一次元 Si 原子鎖を内包する薄膜熱電材料の開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第一回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀田 亮輔、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 Si基板上エピタキシャルn-GeSnの作製とその熱電特性
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第一回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Komatsubara, Yuji Miyato, Takafumi Ishibe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Local potential distribution mapping by T-KFM for the enhancement of thermoelectric properties
3. 学会等名 ICSPM31 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Masato Yoshiya, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Heat transport physics at the amorphous/crystal interface
3. 学会等名 10th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Shintaro Ishigaki, Katsuhiko Suzuki, Kazunori Sato, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Epitaxial growth of CoSi film/Si and its thermoelectric properties
3. 学会等名 The 39th Annual International Conference on Thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Nanomaterial design and fabrication for thermoelectric performance enhancement
3. 学会等名 TMS 2024 annual meeting and exhibition (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Simultaneous control of carrier and phonon transports in nanostructured thermoelectric films with the controlled interfaces
3. 学会等名 International conference on Advanced Functional Materials and Devices (AFMD-2024) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 ナノ構造形状変化を利用した熱スイッチ材料の開発
3. 学会等名 第7回フォノンエンジニアリング研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 シリコン系材料を舞台としたナノ構造制御による熱電性能向上戦略
3. 学会等名 第28回研究会「シリコンおよびケイ化物系熱電変換材料研究の最前線と新展開」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 ナノ結晶成長技術の薄膜熱電材料への応用
3. 学会等名 第20回シリサイド系半導体・夏の学校 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Heat conduction control using well-organized nanostructures
3. 学会等名 10th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura, Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Phonon Transport Physics in Well-Controlled Various Nanomaterials
3. 学会等名 2021 Virtual MRS Spring Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 ナノ構造を用いた熱流制御に基づく熱電変換性能向上の方法論とSiGe材料への応用 ~3物性のトレードオフの関係を最適化する方法論~
3. 学会等名 進展する熱電変換材料技術の最先端と応用展望 セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 ナノ構造を用いた熱電性能向上の方法論
3. 学会等名 2021ナノ理工学セミナー ナノサイエンスを支える先進技術 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 Nanostructure design for thermoelectrics
3. 学会等名 ASCO-NANOMAT 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Methodology of thermoelectric performance enhancement using low dimensional materials of Group IV element
3. 学会等名 JST未来社会森第12回コロキウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 ナノ構造制御を用いたコピキタス元素熱電材料における性能向上
3. 学会等名 学振R031ハイブリッド量子ナノ技術委員会 第7回研究会「グリーン・サステナブルエレクトロニクスにおける材料技術」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 熱電応用に向けたナノ構造による熱流制御
3. 学会等名 R025 先進薄膜界面機能創成委員会・第10回研究会「フォノンエンジニアリング」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 構造制御によるフォノン・電子操作とシリコン系熱電材料の高性能化
3. 学会等名 第42回電子材料研究討論会 (公社) 日本セラミックス協会 電子材料部会主催 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Interface design for development of high performance thermoelectric film
3. 学会等名 International Workshop on Physics and Chemistry of Electronic Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Uematsu, T. Terada, T. Ishibe, and Y. Nakamura
2. 発表標題 Investigation of thermal conductivity in epitaxial germanane films
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Sakane, T. Ishibe, T. Fujita, J. Ohe, E. Kobayashi, Y. Nakamura
2. 発表標題 Thermoelectric power factor enhancement by thermal management with resonant level effect
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Komatsubara, Y. Miyato, T. Ishibe, Y. Nakamura
2. 発表標題 Temperature-difference-induced local potential variation detection by using KFM under non-thermal equilibrium
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Yuto Uematsu, Katsuhiko Suzuki, Kazunori Sato, Takeshi Fujita, Eiichi Kobayashi, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Demonstration of electron-phonon interaction-dominated thermoelectric power factor in Dirac-system CoSi film
3. 学会等名 The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Komatsubara, Yuji Miyato, Takafumi Ishibe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Vacuum level mapping of Si nanowire composite films under non-thermal equilibrium for developing high-performance thermoelectric materials
3. 学会等名 The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryosuke Hotta, Kosei Mizuta, Takafumi Ishibe, Takeshi Fujita, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Development of high thermoelectric performance SiGe-based materials by introducing metal elements
3. 学会等名 The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Kotaro Minami, Tsukasa Terada, Takafumi Ishibe, Kazunori Sato, Tien Quang Nguyen, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題	Enhancement of thermoelectric power factor in CaSi ₂ by endotaxially introducing metastable phase with high-buckled silicene
3. 学会等名	The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Shunya Sakane, Takafumi Ishibe, Takeshi Fujita, Jun-ichiro Ohe, Eiichi Kobayashi, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題	Thermoelectric power factor enhancement of bulk silicon germanium by thermal management with resonant level effect
3. 学会等名	The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Tsukasa Terada, Yuto Uematsu, Takafumi Ishibe, Nobuyasu Naruse, Kazunori Sato, Tien Quang Nguyen, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題	Emergence of high thermoelectric power factor by deformation of silicene buckled structure in epitaxial CaSi ₂ film
3. 学会等名	The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Yuto Uematsu, Tsukasa Terada, Takafumi Ishibe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題	Formation and Thermal Conductivity Measurements of Layered Germanane Films for Thermoelectrics
3. 学会等名	9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 Yuki Komatsubara, Yuji Miyato, Takafumi Ishibe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Detection of vacuum level using KFM measurement under temperature gradient for accelerating thermoelectric material study
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石垣 信太郎、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 高熱電出力因子化に向けたSi基板上 -CoSi薄膜のエピタキシャル成長とその熱電特性
3. 学会等名 第19回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 純也、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 パリステック熱伝導観測に向けたアモルファスSiGe系超格子の伝熱特性評価
3. 学会等名 第19回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島 幹央、寺田 吏、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 IV族二次元原子層を含むCa(SiGeSn) ₂ ナノシートのSi基板上へのエピタキシャル成長
3. 学会等名 第19回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂根 駿也、石部 貴史、藤田 武志、大江 純一郎、小林 英一、中村 芳明
2. 発表標題 Au添加がバルクSiGeの熱電特性に与える影響
3. 学会等名 第18回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山虎之介、石部貴史、中村芳明
2. 発表標題 EDLTを用いたIV族熱電材料における熱電特性操作
3. 学会等名 2021年 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松原 祐樹、宮戸 祐治、石部 貴史、中村芳明
2. 発表標題 温度勾配下の熱電材料における局所電位変化の直接測定
3. 学会等名 2021年 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂根 駿也、石部 貴史、藤田 武志、大江 純一郎、小林 英一、中村 芳明
2. 発表標題 熱流制御と共鳴準位効果を用いた熱電出力因子増大
3. 学会等名 2021年 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蘆田 湧一、石部 貴史、成瀬 延康、楊 金峰、中村 芳明
2. 発表標題 VO ₂ 構造相転移を駆動するナノスケール歪みの可視化
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 純也、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 アモルファスSiGe系超格子におけるフォノン輸送物理
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島 幹央、寺田 吏、上松 悠人、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 熱電性能向上に向けたエピタキシャルCa(SiGeSn) ₂ ナノシートの開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧川 将、石部 貴史、大石 佑治、中村 芳明
2. 発表標題 GeTe 熱電材料における Ge, Sn 含有量と熱電特性の関係
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石部 貴史、吉矢 真人、中嶋 聖介、石田 明広、中村 芳明
2. 発表標題 アモルファス GeS/単結晶 PbTe 界面における熱輸送機構
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺田 史、上松 悠人、石部 貴史、成瀬 延康、Nguyen Tien Quang、佐藤 和則、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルCaSi ₂ 薄膜中のシリセンバックリング構造変形による熱電出力因子増大
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺田 史、石部 貴史、Nguyen Tien Quang、佐藤 和則、中村 芳明
2. 発表標題 バルクCaSi ₂ への準安定相導入による熱電出力因子増大
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上松 悠人、寺田 史、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 極小熱伝導率を有する単結晶ゲルマナン薄膜の創製
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小松原 祐樹、宮戸 祐治、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 熱電材料におけるゼーベック効果を含んだ局所電位変化の直接測定
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島 幹央、寺田 吏、石部 貴史、成瀬 延康、小林 英一、中村 芳明
2. 発表標題 Caインターカレーションを用いたバックリング構造変調シリセンの創製とその熱電特性
3. 学会等名 2022年 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石部貴史
2. 発表標題 カルコゲナイド系超格子における伝熱特性
3. 学会等名 第6回フォノンエンジニアリング研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂根 駿也、三輪 俊一朗、石部 貴史、中村 芳明、田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSS に導入した Cu ₂ Seナノワイヤの熱電出力因子に与える影響
3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田 亮輔、水田 光星、石部 貴史、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 Co導入による SiGeバルク材料の熱電性能向上」
3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会（TSJ2022）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江 航平、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 Si 電気二重層トランジスタにおけるキャリア注入量改善とその熱電特性
3. 学会等名 2022年 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石部 貴史、谷内 卓、山下 雄大、佐藤 拓磨、末益 崇、中村 芳明
2. 発表標題 Si基板上エピタキシャルBaSi ₂ 薄膜における欠陥導入による低熱伝導率化
3. 学会等名 2022年 第85回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田 亮輔、水田 光星、石部 貴史、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 合金ナノ結晶導入による高性能SiGe熱電材料の開発
3. 学会等名 2022年 第86回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石部 貴史, 吉矢 真人, 中嶋 聖介, 石田 明広, 中村 芳明
2. 発表標題 界面熱抵抗低減に向けた界面熱輸送機構の理解
3. 学会等名 第43回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田 亮輔, 谷口 達彦, 石部 貴史, 中村 芳明
2. 発表標題 極小熱伝導率を有するGeナノドット含有Si系薄膜におけるフォノン輸送機構の解明
3. 学会等名 第5回結晶工学 × ISYSE 合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石垣 信太郎, 石部 貴史, 中村 芳明
2. 発表標題 Dirac bandを有するエピタキシャル -CoSi/Si の作製とその熱電特性
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上松 悠人, 寺田 吏, 石部 貴史, 中村 芳明
2. 発表標題 準安定相導入によるバルク CaSi_2 の熱電特性制御
3. 学会等名 第19回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺田 史, 上松 悠人, 石部 貴史, 成瀬 延康, 中村 芳明
2. 発表標題 二次元Si層の構造変調によるエピタキシャルCaSi ₂ 薄膜の熱電出力因子増大
3. 学会等名 第19回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石部貴史
2. 発表標題 ナノドット含有Si系薄膜におけるフォノン輸送機構
3. 学会等名 第5回フォノンエンジニアリング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石部貴史, 上松悠人, 竹中良介, 鈴木雄大, 佐藤和則, 藤田武志, 小林英一, 中村芳明
2. 発表標題 高熱電出力因子に向けたe-CoSi 薄膜/Si における電子輸送機構
3. 学会等名 2021年 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 谷口 達彦, 石部 貴史, 我妻 勇哉, 澤野 憲太郎, 山下 雄一郎, 中村 芳明
2. 発表標題 歪・組成制御エピタキシャルSiGe薄膜の熱電性能
3. 学会等名 2021年第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 寺田 史、谷口 達彦、石部 貴史、鴻池 健人、真田 篤志、成瀬 延康、目良 裕、中村 芳明
2. 発表標題 極小エビタキシャルGeナノドット含有薄膜における熱伝導機構
3. 学会等名 2021年 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 石部貴史
2. 発表標題 界面制御したSiGe/Si超格子薄膜における電子・フォノン輸送
3. 学会等名 第4回フォノンエンジニアリング研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日野雄太、関本渉、藤井進、吉矢真人、石部貴史、中村芳明
2. 発表標題 カルコゲナイド異相界面におけるフォノン伝導機構
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水田 光星、細田 凌矢、石部 貴史、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 サーマルマネージメント出力因子増大機構解明に向けたCoSi ₂ ナノドット含有SiGe薄膜の熱電特性評価
3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺田 吏、上松 悠人、石部 貴史、小林 英一、中村 芳明
2. 発表標題 フェルミレベル制御によるエピタキシャルCaSi ₂ 薄膜の高出力因子化
3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷口 達彦、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルGeナノドット含有SiGe薄膜における熱伝導率低減機構の解明
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細田凌矢、水田光星、石部貴史、Md. Mahfuz Alam、澤野憲太郎、中村芳明
2. 発表標題 熱電出力因子増大に向けたエピタキシャルCoSi ₂ ナノドット含有SiGe薄膜の開発
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上松 悠人、寺田 吏、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルゲルマナン薄膜の作製とその熱伝導率測定
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Ishibe, Y. Yamashita, and Y. Nakamura
2. 発表標題 Carrier and phonon transport control in oxide thermoelectric film by introducing nanoscale interface
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 半導体ナノ構造の熱電特性
3. 学会等名 応用物理学会東海支部55周年記念講演 東海ニューフロンティアリサーチワー クショップ (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 芳明、藤田 武志
2. 発表標題 熱電性能向上を目指した特異構造による熱・フォノン輸送制御
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「窒化物半導体特異構造の科学 ~実験と理論の協奏的アプローチ：物性解明と制御~」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Semiconductor nanostructure design for thermoelectric property control
3. 学会等名 Nanomeeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 熱電性能向上に向けたナノ構造の設計とその作製
3. 学会等名 第40回排熱発電コンソーシアム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Nanostructure thermoelectrics
3. 学会等名 IEEE IMFEDK 2019, 17th Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 ユビキタス元素熱電材料実現に向けたナノ構造制御
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会中部支部研究会「ナノ結晶成長・評価・応用の研究最前線」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 IoT 活用を目指した低温熱電発電用ナノ材料の創製
3. 学会等名 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会主催 2019年度 薄膜・表面物理研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 ナノワイヤ界面制御による熱電出力因子増大方法論
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 特異構造を用いたフォノン輸送制御と熱電応用
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「窒化物半導体特異構造の科学～実験と理論の接点を探る：物性解明と制御～」 （招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 界面制御した透明ZnO薄膜における熱電出力因子増大
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Power factor enhancement by introducing dopant-controlled epitaxial interfaces in transparent embedded-ZnO nanowire structure
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics and The 4th Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Taniguchi
2. 発表標題 Controlling composition for high thermoelectric power factor in Si-rich SiGe/Si superlattices
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics and The 4th Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukasa Terada
2. 発表標題 Thermoelectric properties of layered CaSi ₂ including silicene structure
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics and The 4th Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Simultaneous realization of thermal conductivity reduction and thermoelectric power factor enhancement using ZnO nanowire interface
3. 学会等名 The 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON21) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunya Sakane
2. 発表標題 Simultaneous realization of thermoelectric power factor enhancement and thermal conductivity reduction in epitaxial Si films containing b-FeSi ₂ nanodots
3. 学会等名 The 5th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (APAC-Silicide 2019), Seagaia convention center (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松原 祐樹
2. 発表標題 熱起電力顕微鏡の開発とナノコンポジット材料への適用
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂根 駿也
2. 発表標題 サーマルマネージメントによるSiGe熱電材料の出力因子増大
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細田 凌矢
2. 発表標題 SiGe EDLTを用いた出力因子増大の検証
3. 学会等名 第16回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 達哉
2. 発表標題 異方的構造を有するブロックコポリマー薄膜の熱伝導率異方性評価
3. 学会等名 第16回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上松 悠人
2. 発表標題 二次元電子ガス系AlGaAs/GaAsにおける熱電性能の温度依存性評価
3. 学会等名 第16回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松原 祐樹
2. 発表標題 熱起電力顕微鏡の開発とナノコンポジット材料への適用
3. 学会等名 第16回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口 達彦
2. 発表標題 独自エピタキシャルGeナノドット含有SiGe薄膜による低熱伝導率化
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 Si基板上BaSi ₂ 薄膜の低熱伝導率とその熱輸送機構
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田 史
2. 発表標題 Ca濃度変調によるエピタキシャルCaSi ₂ 薄膜の熱電特性操作
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂根 駿也
2. 発表標題 欠陥制御によるナノ結晶含有Si薄膜の熱電特性改善
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 熱電発電応用に向けたSi基板上BaSi ₂ 薄膜
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田 史
2. 発表標題 IoTセンサ電源応用に向けたSi基板上CaSi ₂ 熱電薄膜
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第2回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上松 悠人
2. 発表標題 2次元電子ガス系AlGaAs/GaAsの熱電性能評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第2回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 達哉
2. 発表標題 ナノシリンドラブロックコポリマー薄膜における熱伝導率スイッチングの発現
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第2回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松原 祐樹
2. 発表標題 熱起電力顕微鏡の開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第2回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩田拓哉
2. 発表標題 環境調和型フレキシブル熱電材料の開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第3回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上松 悠人
2. 発表標題 AlGaAs/GaAs 系二次元電子ガスによる出力因子増大
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺田 史
2. 発表標題 Ca/Si界面反応制御によるエピタキシャルCaSi ₂ 薄膜の高出力因子化
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷口 達彦
2. 発表標題 Si-rich SiGe/Si超格子における高熱電出力因子の要因
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂根 駿也
2. 発表標題 ナノ構造化Si薄膜における構造制御による高熱電性能化
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 Si基板上B20型CoSi薄膜の電子状態と熱電特性の関係
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松原 祐樹
2. 発表標題 熱起電力顕微鏡法により検出したZnO薄膜の微視的熱電物性
3. 学会等名 2020年 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北浦 怜旺奈
2. 発表標題 半導体/強磁性金属積層構造における異常ネルンスト係数の増大
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石部 貴史
2. 発表標題 鉄シリサイドナノドット含有Fe ₃ O ₄ 薄膜メモリ における局所電界増強による抵抗変化比増大
3. 学会等名 2020年 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松原 祐樹
2. 発表標題 界面エネルギー障壁制御による透明ZnO/MgZnO超格子薄膜の出力因子増大
3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 中村芳明	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 649
3. 書名 次世代自動車の熱マネジメント	

1. 著者名 中村芳明, 坂根駿也	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本工業出版	5. 総ページ数 79
3. 書名 クリーンエネルギー	

1. 著者名 中村芳明	4. 発行年 2021年
2. 出版社 一般社団法人生産技術振興協会	5. 総ページ数 111
3. 書名 生産と技術	

1. 著者名 中村芳明	4. 発行年 2019年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 413
3. 書名 サーマルデバイス 新素材・新技術による熱の高度制御と高効率利用	

〔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
研究分担者	黒澤 昌志 (Kurosawa Masashi) (40715439)	名古屋大学・工学研究科・講師 (13901)	
研究分担者	森 伸也 (Mori Nobuya) (70239614)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	藤田 武志 (Fujita Takeshi) (90363382)	高知工科大学・環境理工学群・教授 (26402)	
研究分担者	澤野 憲太郎 (Sawano Kentarou) (90409376)	東京都市大学・理工学部・教授 (32678)	

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