

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02078

研究課題名(和文)新ヘテロナノ構造を用いたフォノン・キャリア波動制御に基く高性能Si熱電材料の創製

研究課題名(英文)High performance Si thermoelectric material design based on phonon-carrier wave control in novel heteronanostructures

研究代表者

中村 芳明(Nakamura, Yoshiaki)

大阪大学・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) 32,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノ構造フォノン散乱体と電子輸送制御した超格子構造を同時に組み込み、ゼーベック係数制御にも注目し、極小熱伝導率と高出力因子を同時に発現させるという学術的戦略に基づいたSi系熱電材料の性能向上を目的とした。本研究では、原子レベルの界面の高度制御(歪・組成)により、高電子状態縮重度・低界面障壁を実現する電子輸送超格子を形成し、n型SiGe超格子の中で、最高の出力因子を実現した。本界面制御により、高い出力因子を保持しながら熱伝導率の低減にも成功した。さらに、単純なデバイスの動作を確認した。本研究は、LSI技術と共存可能な高性能Si系熱電材料への道の可能性を示したことを意味する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

廃熱の再利用に向けて、現在、産業上有利なSi系材料の熱電材料の開発が期待されている。熱電変換効率増大には、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、ナノ構造という制御因子を追加することで、これらの物性値を制御することを目的とした。具体的には、超格子に注目し、界面フォノン散乱による熱伝導率低減、及び界面制御(歪・組成)による電子状態縮重度、界面障壁制御を行った出力因子増大という新しい戦略でこれに挑戦した。その結果、熱伝導率を低減しn型SiGe超格子の中で最高の出力因子を実現した。Si系熱電材料開発の発展が期待される結果である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we are aiming at the Si-based thermoelectric materials based on the integration between phonon scattering nanostructure and transport-controlled superlattice, where the low thermal conductivity and high power factor are expected. We succeed in high electronic state degeneracy of conduction band and low barrier at the interface by the interface control, resulting in the high power factor in the n-type SiGe type superlattice. Furthermore, the interface control reduces the thermal conductivity through the phonon scattering. Simple device structure is fabricated. This study opens a road to realization of the Si-based thermoelectric materials.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：ナノ構造物性 熱電材料 二次元電子ガス エピタキシャル成長 シリコン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

廃熱を電気として再利用することを目的とした高性能熱電材料の開発研究は、現在、エネルギー・環境問題の観点から多大な注目を浴びている。熱電変換の無次元性能指数、 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、 $S^2\sigma T/\kappa$ として表され、 S 、 σ の値が大きく、 κ の値が小さい材料の開発が求められる。一般にこれら物性値には相関があり、高性能化が難しい。通常、レアメタルなどの重い元素材料を用いて熱伝導率を低減するアプローチがとられ、Pb-Te 系化合物など、比較的高い ZT 値を有する材料が開発されている。しかしながら、これらの重い元素材料は、コスト、資源の豊富さ、毒性などの点で劣り、熱電材料の社会普及を妨げる大きな要因の一つとなっている。近年、ナノ構造の導入により ZT が向上することがわかってきた。そこで、ユビキタス元素材料、特に LSI で使用される Si 材料をナノ構造化して性能向上を狙った研究が精力的に取り組まれている。比較的输出因子の高い Si においては高い熱伝導率 ($\sim 150 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) が熱電材料利用の障壁であるため、ナノ構造界面導入に伴うフォノン散乱促進による κ 低減を狙った研究がここ数年で注目を浴びている。

研究代表者は、ナノ構造導入により、Si ナノドットを用いて劇的な κ の低減[1]を達成し、ナノドットを Si 薄膜に埋め込むことで κ 低減と同時に σ の維持に成功した[2]。しかし、低温領域での Si 熱電材料実現のためには、さらなる性能向上が要求されており、現在では、未制御の S にも注目し、極小 κ を保持して、さらに σ と S を独立制御する、ナノ構造 / 物性制御の方法論が必要とされている。本研究では、フォノン散乱体となるナノ構造と歪制御 / 二次元電子閉じ込めに基づく電子輸送制御した Si 系構造を融合することで、新規超格子構造 (2DEG - PGEC) を創出し、 κ だけでなく S と σ も同時に制御した高性能 Si 系熱電材料実現への道を拓くことを目指す。

2. 研究の目的

研究では、ナノ構造フォノン散乱体と電子輸送制御した超格子構造を同時に組み込むことで今まで未制御であった S にも注目し、極小熱伝導率と高出力因子を同時に発現させる。そうすることで、LSI 技術と共存可能な高性能 Si 系熱電材料を創製し、さらにそのデバイスの動作実証を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ナノ構造設計に向けたエピタキシャル IV 族薄膜の知見の取得

Si 系材料におけるナノ構造フォノン散乱体と電子輸送制御超格子構造の同時組み込みが本研究の核となる。まず、環境に調和した Si 系材料を使用して研究代表者が提案するナノ構造を形成する技術の開発を行う。後述の理由のため、最初に様々なエピタキシャル Ge 系薄膜を作製し、その熱電特性を調べる。

(2) 電子輸送制御超格子構造の作製と熱電物性評価

電子輸送制御としてまず歪を制御した SiGe 超格子を作製し、歪と熱電特性の関係を調べる。この時の電子輸送制御 SiGe 超格子の形成方法については、図 1 に示す。

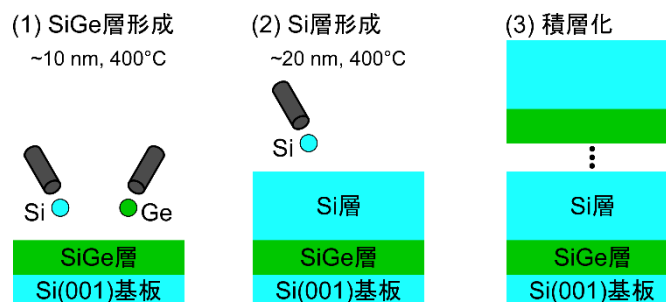


図 1 電子輸送制御超格子構造の作製方法。

(3) ナノ構造フォノン散乱体と歪制御超格子構造の融合と熱電特性制御

(1)(2)で得られた知見をもとに、ナノ構造フォノン散乱体と歪制御超格子構造の融合したナノ構造薄膜の形成と熱電特性を調べ、ナノ構造を用いた三つの熱電物性値の制御を行う。また、熱電物性制御に最適なナノ構造の予測、及び、得られた実験結果の検証を、理論計算をもとに行う。最終的に、IV 族半導体系薄膜のデバイス作製と動作確認を行う。

これらの研究は LSI 廃熱利用に向けた環境調和型高性能 Si 系熱電材料の実現へと直接つながるものである。

4. 研究成果

(1) ナノ構造薄膜設計に関するエピタキシャル IV 族薄膜の熱電特性

本研究の核となるのは、キャリアとフォノンがポテンシャルを感じる違いを利用して、キャリアには二次元量子閉じ込め歪制御超格子構造とフォノンにはナノスケール散乱体として働くナ

ノ構造を融合した新規ナノ構造を開発することになる。しかし、SiGe バルク材料の熱電特性は十分な知見を得られているが、ベースとなる Si 基板上エピタキシャル Ge 系薄膜の熱電特性は明らかにされていない。そこでまず、エピタキシャル Ge 薄膜/Si 基板の熱電特性を評価し、その後、二次元閉じ込め歪制御超格子の作製、ナノ構造導入という順に進めていく。研究期間を通して様々なユビキタス元素を用いたナノ構造、薄膜を形成し、及びその熱電特性[3-9]を測定して知見を得ることを行ってきたが、ここでは、特に SiGe 系材料として Ge 薄膜の結果を示す。

Si 基板上エピタキシャル Ge 系薄膜は、LSI 分野ではよく研究されており、電気特性は結晶性すなわち結晶成長法により強く依存することがわかっている。しかし、熱電特性に関しては驚くべきことに全く知見がない。そこで、二段階成長分子線エピタキシー (MBE) 法、(一段階) MBE 法、固相エピタキシー (SPE) 法など様々な方法で成長したエピタキシャル Ge 薄膜の熱電特性を明らかにした。図 2 に示すように、各々の成長方法で形成した薄膜の反射高速電子回折 (RHEED) 図形と原子間力顕微鏡 (AFM) 像観察した結果、すべての薄膜でエピタキシャル成長しているものの、二段階成長 MBE 法以外で作製した薄膜では、ファセットも見られ、表面ラフネスが大きくなっていることがわかった。また、X 線回折法 (XRD) とラマン分光法を用いて作製した薄膜を評価した (図 3)。この結果から、(一段階) MBE 法で形成した薄膜にだけ、基板の Si と Ge 薄膜のミキシングが見られた。

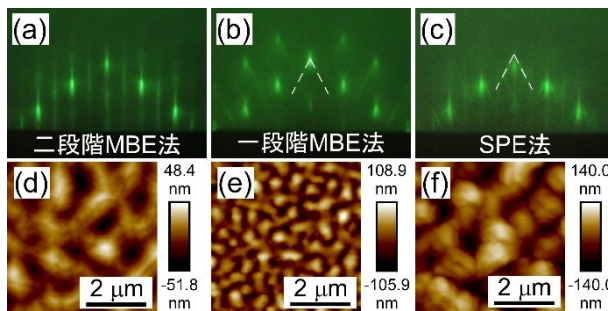


図 2 Ge 薄膜の(a-c)RHEED 図形と(d-f)AFM 像。

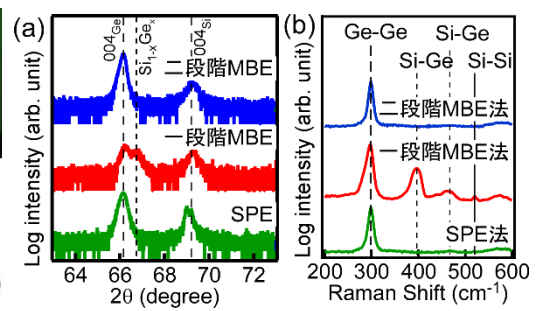


図 3 Ge 薄膜の(a)XRD と

(a,d)二段階 MBE 法、(b,e)一段階 MBE 法、(c,f)SPE 法。

(b)Raman 測定結果。

これら薄膜の熱電特性測定結果を図 4 に示す。SPE 法と二段階成長 MBE 法で形成した Ge 薄膜は、移動度のキャリア密度依存性から、バルク Ge の移動度よりは低いと同じ移動度のキャリア密度依存性を示すことがわかる。一方(一段階)MBE 法では、一桁程度移動度が低くなっている。

これは、(一段階) MBE 法では、Si と Ge のミキシングで生じる合金散乱による効果であると考えられる。一方、 S は薄膜形成方法にそれほど依存せず、膜質の効果が移動度に比べて無視できることが分かった。二段階成長 MBE 法で形成した Ge 薄膜では、出力因子 (PF) は実用化されている RTG (バルク SiGe) の性能を超えて $17 \mu\text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-2}$ の値を示した。この二段階成長 MBE 薄膜は、バルク Ge の値より 4 倍程度低い $15 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ の熱伝導率を示した。PF がそれほど高くない (一段階) MBE 薄膜は、 $3 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ と劇的に低い値を示し、これは、フォノンに対する合金散乱によるものと思われる。結果 ZT は PF の低い (一段階) MBE 薄膜が一番高い値を示すこととなった。このことより、ナノ構造を意図的に入れていない Ge 系薄膜では、PF は落ちるものの熱伝導率を低くすることで ZT が高くなるということがわかった。やはり、高 PF と低熱伝導率の実現には熱伝導率低減が期待される超格子のようなナノ構造を高 PF 化する必要があると思われる。

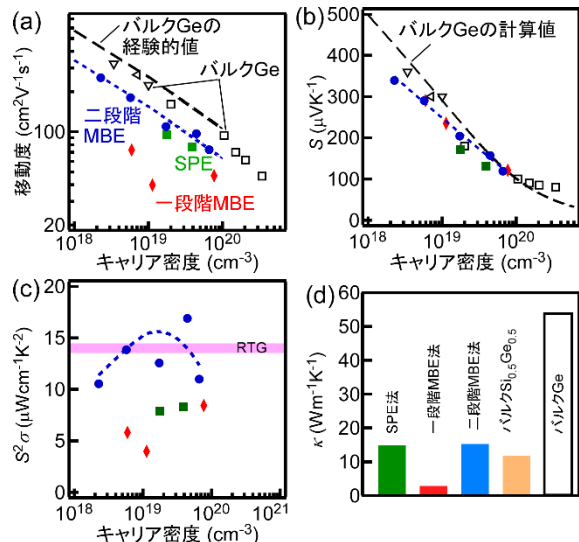


図 4 Ge 薄膜の(a)移動度、(b) S 、(c) S^2 のキャリア密度依存性および(d)熱伝導率。

(2) 電子輸送制御超格子構造の作製と熱電物性評価

本研究では、当初、キャリアとフォノンが感じるポテンシャルの違いを利用して、キャリアは二次元閉じ込め構造を、フォノンにはナノスケールの散乱体を作りこむことで、電気伝導率を増大させ、熱伝導率を低減させることを狙いとしていたため、まず、SiGe 系超格子の熱電特性の測定を行った。Si 層は歪を導入すると、移動度が上がる効果があるが、一方、伝導体底の縮退が解けて S が減少する効果がある。そこで、SiGe 超格子の形成戦略として、我々は n 型の場合は後者の効果のほうが大きいと理論的に予想し、歪が低くなるように制御して Si の高い S を利用

することを考えた。すなわち Si-rich SiGe/Si 超格子に注目した。MBE の作製中の SiGe 層形成後の RHEED を図 5 に示す。この図 5(c) の RHEED 図形から Ge が偏析していることがわかる。この図形を解析することで、Ge 組成により界面の Ge 偏析量を制御できることがわかった。

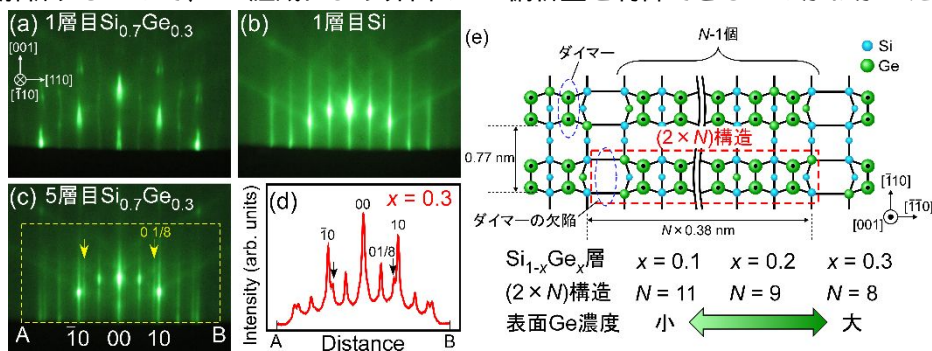


図 5 (a-c) Si_{0.7}Ge_{0.3}/Si 超格子の RHEED 図形、(d)(c) 中点線内の [110] 方向の平均強度プロファイル、(e) Ge 表面偏析により生じる (2 × N) 構造の表面模式図および超格子の N の値。

MBE で作製した Si-rich SiGe/Si 超格子の断面透過顕微鏡像 (TEM)、EDX、XRD 逆格子マップの結果を図 6 に示す。断面 TEM 像より、超格子が比較的急峻な界面をもって形成されていることがわかる。図 6(b) の EDX スペクトルは図 6(a) の A, B の領域に対応しており、SiGe 層の表面側の界面のほうが Ge の濃度が大きくなっていることがわかる。これは、Ge が界面に少量偏析した結果であると考えられる。XRD 逆格子マップ図形から、超格子ができており、SiGe 層が歪んで面内方向では Si と同じ格子定数の周期性を持っていることがわかった。すなわち、設計通り、Si 層は歪まないように作りこむことに成功した。

この Si-rich SiGe/Si 超格子の熱電特性を調べた結果を図 7 に示す。移動度を見ると、バルク Si や Si 薄膜 [*J. Appl. Phys.* **73**, 8237 (1993).] と異なり、作製した超格子はあるキャリア密度 n_t で移動度が落ち込んでいる傾向を示した。これは多結晶 Si 薄膜にもみられるような、界面欠陥におけるキャリアトラップによるものと考えられる。このメカニズムを簡単に以下に示す。まず、キャリア密度 n が上昇すると ($n < n_t$) 界面欠陥にトラップされるキャリアが増え、バンド障壁が生じて移動度は減少する。さらにキャリア密度が上昇して ($n > n_t$) 欠陥がキャリアをトラップしきると、イオン化不純物による遮蔽効果が増大してバンド障壁が下がるため、移動度は回復する。本試料において注目すべきは、バルク Si が最大 PF を取る $\sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 付近では超格子の移動度は回復して Si 薄膜と同程度の値を示していることである。これは、図 5(e) で示したような (2 × N) 構造における欠陥を Ge 組成で制御した結果である。次に S を見ると、先行研究の歪 Ge/歪 Si 超格子 [*Appl. Phys. Lett.* **77**, 1490 (2000).] よりも Si-rich SiGe/Si 超格子の方が大幅に高い値を示した。XRD の結果より、Si-rich SiGe/Si 超格子に含まれる無歪 Si (イオン化不純物散乱)、面内圧縮歪 SiGe (イオン化不純物散乱と合金散乱) の S を計算すると、実験結果はそれらの間に来ることが分かった。一方で、先行研究の歪 Ge/歪 Si は面内伸張歪 Si (界面散乱) の計算結果と一致した。これは、前述のとおり、Si-rich SiGe/Si 超格子は Si 層の歪を抑えて縮退をバルク Si と同じ状態に維持し、かつ Si-rich SiGe 層により組成比差が小さく界面のバンドオフセットも小さい状態を作りこむことができたためであると考えられる。

以上の結果から、図 7(d) より高い出力因子 ($28 \mu \text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-2}$) を得ることが分かった。これは、今までに報告されている n 型 SiGe 超格子の中で、最高の出力因子を実現することに成功したことを意味する。これは、Si-rich SiGe を用いて歪制御して高縮重度電子状態に起因する高ゼーベック係数を実現したこと、ドナーによる界面欠陥の遮蔽効果を利用したことの二つの戦略によるものと考えられる。当初、高い PF を得るために我々は、二次元閉じ込め構造、すなわち 2 次元電子ガス (2DEG) を作りこむ研究計画であった。しかし、上記の歪及び欠陥効果の制御に成功して最高 PF を得たという実験結果は、わざわざ 2DEG を作りこまなくても、歪制御超格子というよりシンプルな構造で高 PF の Si 系薄膜を作製できるということを示している。

その結果を踏まえて、我々は、本歪制御 SiGe 系超格子に、ナノ構造フォノン散乱体を作製す

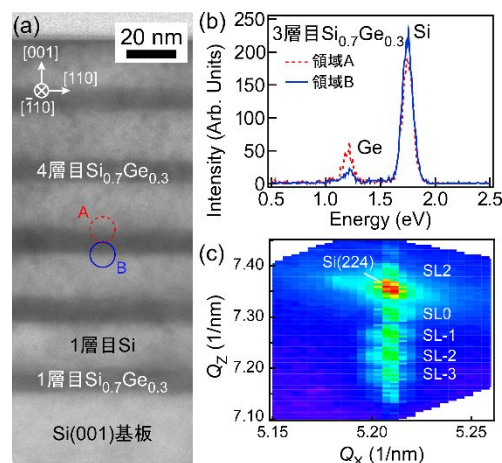


図 6 (a) Si_{0.7}Ge_{0.3}/Si 超格子の TEM 像、(b) (a) 内 A と B における TEM-EDX 測定結果、(c) XRD 逆格子マッピング測定結果。

ることに舵を切って研究を行うことにした。

(3) ナノ構造フォノン散乱体と歪制御超格子構造の融合と熱電特性制御

前の(2)で述べたように当初の 2DEG - PGEC SiGe 超格子ではなく、歪制御 SiGe 系超格子にナノ構造フォノン散乱体を導入した歪制御 - PGEC SiGe 超格子をターゲットした戦略を行う。その際、ナノ薄膜の熱伝導率測定手法として 2 法の解析方法の開発を行ってから[10]、以下の超格子の測定を行った。まず、様々な組成の本超格子を作製し、熱伝導率を測定した結果、Si_{0.9}Ge_{0.1}/Si 超格子で 5 Wm⁻¹K⁻¹ という低い値を示した。今までに報告されている通常の似た構造の超格子では、~15 Wm⁻¹K⁻¹ 程度であることから、驚いたことに劇的に低い熱電伝導率の実現に成功したことを意味する。本超格子は、形成の際に図 5 に示すように界面に Ge 偏析が起こるように作製しており、そのためではないかと考察した。そこで、本来超格子界面にフォノン散乱体を埋め込む予定であったが、界面に Ge 偏析層を埋め込むことでこれをフォノン散乱体とすることを考えた。すなわち、図 8(a) に示すように、界面に Ge 偏析層をいれて上部の Si の歪を制御し高 *S* を、さらに、本界面 Ge 偏析層でフォノン散乱を誘起して低 *κ* を、また、(2)で観測されたドナーによる遮蔽効果により高移動度も同時に実現できると考えた。この三物性同時制御戦略のカギとなる Ge 偏析層を最適化するために Ge 組成を様々に制御し、熱伝導率を測定した。その結果を図 8(b) に示す。

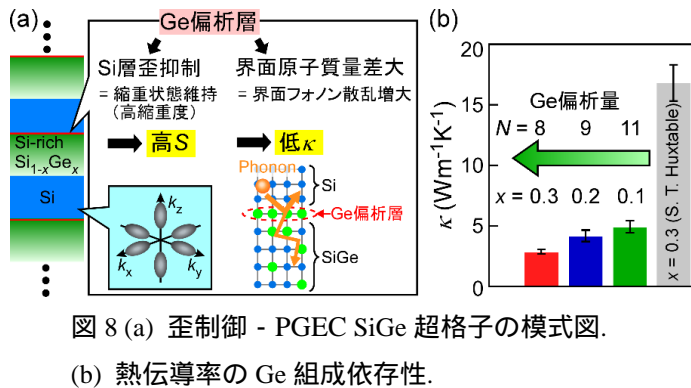


図 8 (a) 歪制御 - PGEC SiGe 超格子の模式図。

(b) 熱伝導率の Ge 組成依存性。

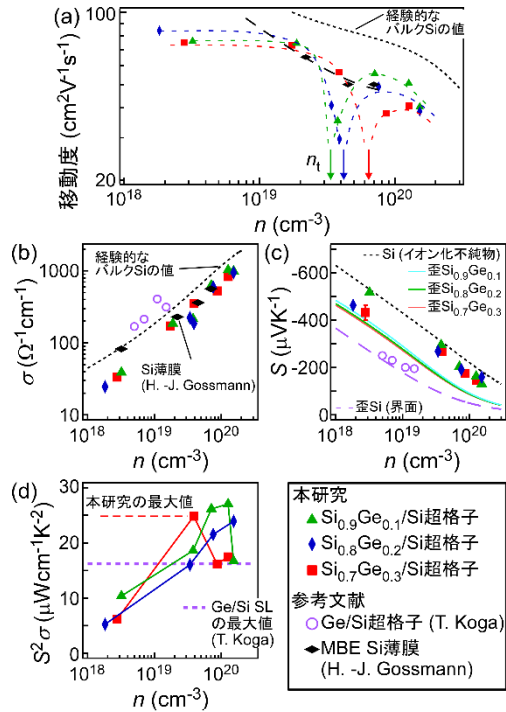


図 7 超格子の(a) 移動度、(b) *σ*、(c) *S*、(d) *S*²*σ* のキャリア密度依存性。

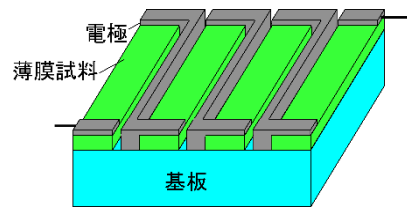


図 9 作製した熱電素子の模式図。

図 5 で述べたように Ge 組成を大きくすると、界面への Ge 偏析を大きくできることはわかっている。この Ge 偏析層を界面に導入した場合、通常の SiGe 系超格子よりもさらに、5 倍程度熱伝導率が低減できることを見出し、Ge 偏析により熱伝導率低減に成功したことを意味する。

この結果は前の(2)の結果と合わせると、原子レベルの界面の高度制御(歪・組成)により、大幅な熱伝導率低減、歪を制御することで、高縮重度起因の高 *S*、遮蔽効果による高 *μ* を達成し、低 *κ* と同時に *n* 型 SiGe 超格子の中で、最高の出力因子も実現しており、熱電変換材料において最大の困難であった高出力因子と低熱伝導率の同時実現への道の可能性を示したことを意味する。最後に、薄膜試料を用いた熱電素子を作製し(図 9) その性能を評価した。簡単のため、Ge 薄膜試料を用いたところ、温度差~25 K で出力~1.3 μWcm⁻² という値を得た。今回は単純なデバイス構造を用いているため、今後、試料構造だけでなく、デバイスの最適化も行うことでさらなる出力向上が見込め、それによって、LSI などの低温廃熱源を用いた熱電デバイス開発につながる事が期待できる。

参考文献

- [1] Nano Energy 12, 845 (2015). [2] Scientific Reports 6, 22838 (2016). [3] J. Vac. Sci. Technol. A 35, 041402 (2017). [4] J. Electron. Mater. 46, 3020 (2017). [5] Jpn. J. Appl. Phys. 56, 05DC04 (2017). [6] Sci. Technol. Adv. Mater. 19, 31 (2018). [7] Thin Solid Films 666, 185 (2018). [8] Appl. Phys. Express 11, 111301 (2018). [9] ACS Appl. Mater. Interfaces 10, 37709 (2018). [10] J. Electron. Mater. 46, 3089 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sakane Shunya, Isogawa Masayuki, Watanabe Kentaro, Kikkawa Jun, Takeuchi Shotaro, Sakai Akira, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 35
2. 論文標題 Epitaxial multilayers of -FeSi_2 nanodots/Si for Si-based nanostructured electronic materials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films	6. 最初と最後の頁 041402 ~ 041402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1116/1.4984107	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 Watanabe Kentaro, Taniguchi Tatsuhiko, Sakane Shunya, Aoki Shunsuke, Suzuki Takeyuki, Fujita Takeshi, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 56
2. 論文標題 Thermoelectric properties of epitaxial -FeSi_2 thin films grown on Si(111) substrates with various film qualities	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 05DC04 ~ 05DC04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.56.05DC04	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 Yamada Shinya, Kudo Kohei, Okuhata Ryo, Chikada Jinichiro, Nakamura Yoshiaki, Hamaya Kohei	4. 巻 10
2. 論文標題 Low thermal conductivity of thermoelectric Fe_2VAl films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115802 ~ 115802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/APEX.10.115802	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 Matsui Hideki, Ishibe Takafumi, Terada Tsukasa, Sakane Shunya, Watanabe Kentaro, Takeuchi Shotaro, Sakai Akira, Kimura Shigeru, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 112
2. 論文標題 Resistive switching characteristics of isolated core-shell iron oxide/germanium nanocrystals epitaxially grown on Si substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 031601 ~ 031601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5013349	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 Nakamura Yoshiaki	4. 巻 19
2. 論文標題 Nanostructure design for drastic reduction of thermal conductivity while preserving high electrical conductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 31 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/14686996.2017.1413918	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 Ryo Okuhata, Kentaro Watanabe, Satoaki Ikeuchi, Akihiro Ishida, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 46
2. 論文標題 Thermal Conductivity Measurement of Thermoelectric Thin Films by a Versatility-Enhanced 2 Method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 3089-3096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-016-5170-5	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 Tatsuhiko Taniguchi, Shunya Sakane, Shunsuke Aoki, Ryo Okuhata, Takafumi Ishibe, Kentaro Watanabe, Takeyuki Suzuki, Takeshi Fujita, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 46
2. 論文標題 Thermoelectric properties of epitaxial -FeSi_2 thin films/Si(111) and enhancement approach of its thermoelectric performance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 3235-3241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-016-4997-0	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 Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Kentaro Watanabe, Jun Kikkawa, Takeshi Fujita, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 46
2. 論文標題 Embedded-ZnO Nanowire Structure for High-Performance Transparent Thermoelectric Materials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 3020-3024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-016-5111-3	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 Kentaro Watanabe, Tatsuhiko Taniguchi, Shunya Sakane, Shunsuke Aoki, Takeyuki Suzuki, Takeshi Fujita, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 56
2. 論文標題 Thermoelectric properties of epitaxial -FeSi ₂ thin films grown on Si(111) substrates with various film qualities	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 05DC04-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.05DC04	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 Takafumi Ishibe, Hideki Matsui, Kentaro Watanabe, Shotaro Takeuchi, Akira Sakai, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 9
2. 論文標題 Epitaxial iron oxide nanocrystals with memory function grown on Si substrates	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 05508-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.9.055508	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 Ishida, Hoang Thi Xuan Thao, Mamoru Shibata, Seisuke Nakashima, Hirokazu Tatsuoka, Hidenari Yamamoto, Yohei Kinoshita, Mamoru Ishikiriyama, and Yoshiaki Nakamura	4. 巻 55
2. 論文標題 Amorphous / epitaxial superlattice for thermoelectric application	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 081201-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.55.081201	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 NAKAMURA Yoshiaki, TANIGUCHI Tatsuhiko, TERADA Tsukasa	4. 巻 61
2. 論文標題 Enhancement of Phonon Scattering in Epitaxial Hierarchical Nanodot Structures for Thermoelectric Application	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 296 ~ 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1380/vss.61.296	査読の有無 無
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, Watanabe Kentaro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Growth of epitaxial FeGe nanocrystals with incommensurate Nowotny chimney-ladder phase on Si substrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 08NB01 ~ 08NB01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.57.08NB01	査読の有無 無
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, Taniguchi Tatsuhiko, Terada Tsukasa, Tomeda Atsuki, Watanabe Kentaro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Areal density control of ZnO nanowires in physical vapor transport using Ge nanocrystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 08NB07 ~ 08NB07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.57.08NB07	査読の有無 無
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 Tomeda Atsuki, Ishibe Takafumi, Taniguchi Tatsuhiko, Okuhata Ryo, Watanabe Kentaro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 666
2. 論文標題 Enhanced thermoelectric performance of Ga-doped ZnO film by controlling crystal quality for transparent thermoelectric films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 185 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.09.045	査読の有無 無
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, Miyamoto Hiroki, Yamashita Yuichiro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermoelectric properties of epitaxial Ge thin films on Si(001) with strong crystallinity dependence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 111301 ~ 111301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/APEX.11.111301	査読の有無 無
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, Tomeda Atsuki, Watanabe Kentaro, Kamakura Yoshinari, Mori Nobuya, Naruse Nobuyasu, Mera Yutaka, Yamashita Yuichiro, Nakamura Yoshiaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Methodology of Thermoelectric Power Factor Enhancement by Controlling Nanowire Interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 37709 ~ 37716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.1021/acsami.8b13528	査読の有無 無
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 Yoshiaki Nakamura, Takafumi Ishibe, Tatsuhiko Taniguchi, Tsukasa Terada, Ryoya Hosoda, Shunya Sakane	4. 巻 18
2. 論文標題 Semiconductor Nanostructure Design for Thermoelectric Property Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Nanoscience	6. 最初と最後の頁 19040036-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219581X19400362	査読の有無 無
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) https://doi.org/10.1016/j.mtener.2019.04.014	査読の有無 無
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) https://doi.org/10.1016/j.susc.2019.121470	査読の有無 無
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) https://doi.org/10.1063/1.5126910	査読の有無 無
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 SFFB01-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab5b58	査読の有無 無
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97件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura,
2. 発表標題 Epitaxial nanostructure design for control of phonon and electron transport
3. 学会等名 The 9th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Design of nanoarchitecture for independent control of carrier and phonon transports
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2017) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 フォノン・キャリア輸送制御を可能とするナノ構造の設計と作製
3. 学会等名 2017年真空・表面科学合同講演会 合同シンポジウム「ナノ構造/低次元・ナノ物質」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 フォノン・電子輸送制御を可能にするSiナノ構造設計
3. 学会等名 第14回日本熱電学会学術講演会(TSJ2017) シンポジウム講演「固体材料における熱伝導制御の学術フロンティア」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe
2. 発表標題 Nanospectroscopic investigation of individual free-standing semiconductor nanowires using nanoprobe-cathodoluminescence techniques
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2017) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura and Kentaro Watanabe
2. 発表標題 Nanostructure Design for Control of Phonon and Electron Transports
3. 学会等名 232nd Electrochemical Society (ECS) meeting (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺健太郎
2. 発表標題 Nanoprobe-CL法による半導体単結晶自立ナノワイヤの顕微物性評価
3. 学会等名 第8回真空・表面科学若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 A versatile thermal conductivity measurement of free-standing nanowire array structures using embedding organic material films
3. 学会等名 2017 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2017)（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 制御したナノ構造界面導入による電子・フォノン輸送制御
3. 学会等名 ホイスラー化合物熱電素子材料による廃熱発電研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 熱電デバイス応用に向けた 族半導体ナノ構造における電子・フォノン輸送制御
3. 学会等名 2018年春季<第65回>応用物理学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村芳明
2. 発表標題 ナノ構造技術を用いた物性制御と応用
3. 学会等名 奈良先端科学技術大学院大学 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura, Kosuke Mitarai, Ryo Okuhata, Kentaro Watanabe
2. 発表標題 Development of Thermal Conductivity Measurement Method Applicable to Thin Bulk Materials Based on 2 Method
3. 学会等名 The 36th International Conference on Thermoelectrics (ICT 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shunya Sakane, Kentaro Watanabe, Takeshi Fujita, Kentarou Sawano, Takeyuki Suzuki, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Si Films Containing Epitaxial Nanodots of Various Materials
3. 学会等名 The 36th International Conference on Thermoelectrics (ICT 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Kentaro Watanabe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Ga-Doped ZnO Films for Transparent Thermoelectric Materials with High Power Factor
3. 学会等名 The 36th International Conference on Thermoelectrics (ICT 2017)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Tatsuhiko Taniguchi, Hiroki Miyamoto, Kentaro Watanabe, and Yoshiaki Nakamura
2 . 発表標題 Growth-method-dependent thermoelectric properties of epitaxial Ge/Si(001) thin films
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Sciences; The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Atsuki Tomeda, Takafumi Ishibe, Kentaro Watanabe, and Yoshiaki Nakamura
2 . 発表標題 Dependence of thermoelectric properties of Ga-doped ZnO films on various crystal properties
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Sciences; The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shunya Sakane, Kentaro Watanabe, Takeshi Fujita, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, Yoshiaki Nakamura
2 . 発表標題 ENHANCEMENT OF THERMOELECTRIC PROPERTIES BY EPITAXIAL NANODOTS IN Si FILMS
3 . 学会等名 The 17th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Power MEMS 2017)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Kentaro Watanabe, Yoshiaki Nakamura
2 . 発表標題 THERMOELECTRIC PERFORMANCES CONTROLLED BY NANOSCALE INTERFACES IN TRANSPARENT EMBEDDED-ZNO NANOWIRES STRUCTURE
3 . 学会等名 The 17th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Power MEMS 2017)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe, Koudai Kaneko, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Monolithic thermoelectric modules fabricated on Si substrates
3. 学会等名 The 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM25)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe, Takeshi Matsumoto, Yusuke Miyazaki, Kosuke Mitarai, Ryo Okuhata, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Thermal conductivity measurements of vertical nanowall structures using organic embedding medium
3. 学会等名 The 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM25)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsukasa Terada, Takafumi Ishibe, Kentaro Watanabe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Epitaxial growth of FeGe nanocrystals on Si substrate
3. 学会等名 The 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM25)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Tsukasa Terada, Kentaro Watanabe, Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Formation control of ZnO nanowires using various seed structures
3. 学会等名 The 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM25)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口 達彦、宮本 拓、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルGe/Si(001)薄膜における熱電性能の膜質依存性
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成29年度第1回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺 健太郎、松本 武司、宮崎 雄介、御手洗 光祐、奥畑 亮、中村 芳明
2. 発表標題 有機膜埋込みSiナノウォール構造とその熱伝導率
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥畑 亮、渡辺 健太郎、石田 明広、中村 芳明
2. 発表標題 低温2w法によるPbTe/GeS超格子の熱伝導率評価
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 ZnOナノワイヤ埋め込み構造における結晶性と構造が与える出力因子増大効果
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 留田 純希、石部 貴史、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 熱電特性向上に向けたGa-doped ZnO多結晶薄膜の膜質制御
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 ナノドット含有Si薄膜の熱電特性に与える熱処理の影響
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口 達彦、奥畑 亮、渡辺 健太郎、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 組成制御によるSiGe/Si超格子の出力因子制御
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺田 史、石部 貴史、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 固相エピタキシャル成長した鉄酸化物ナノドット/Siの結晶性改善とその電気特性
3. 学会等名 2017年 第78回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 ナノワイヤ導入による透明ZnO系薄膜の出力因子増大
3. 学会等名 第14回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂根駿也、柏野真人、渡辺健太郎、藤田武志、中村芳明
2. 発表標題 急冷鋳造法を用いたAu添加SiGeバルク熱電材料の開発
3. 学会等名 第14回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口達彦、宮本拓、奥畑亮、渡辺健太郎、中村芳明
2. 発表標題 結晶性に依存したエピタキシャルGe/Si(001)薄膜の熱電特性
3. 学会等名 第14回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺田史、石部貴史、渡辺健太郎、中村芳明
2. 発表標題 超低熱伝導率薄膜熱電材料の実現に向けたFeGeナノ結晶のSi基板上エピタキシャル成長
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成29年度第3回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口 達彦、渡辺 健太郎、Md. M. Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 界面制御によるSi/SiGe超格子の出力因子操作
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂根 駿也、渡辺 健太郎、成瀬 延康、目良 裕、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、森 伸也、中村 芳明
2. 発表標題 ナノ構造化Si薄膜における出力因子決定機構
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 ナノワイヤ埋め込みZnO構造における出力因子増大をもたらす電子輸送機構
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田 史、石部 貴史、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 非整合チムニラダー構造を有するFeGegナノ結晶のSi基板上へのエピタキシャル成長
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近田 尋一郎, 奥畑 亮, 渡辺 健太郎, 池内 賢朗, 中村 芳明
2. 発表標題 断熱境界条件下の2w法による薄板試料の熱伝導率評価
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥畑 亮, 渡辺 健太郎, 石田 明広, 中村 芳明
2. 発表標題 PbTe / GeS超格子のフォノン伝導機構
3. 学会等名 2018年 第65回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuhiko Taniguchi, Takafumi Ishibe, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Thermoelectric Performance in Boundary-Defect-Controlled SiGe/Si superlattice
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口 達彦, 成瀬 延康, 山下 雄一郎, 中村 芳明
2. 発表標題 Si-rich SiGe/Si超格子における界面偏析が熱伝導率へ与える影響
3. 学会等名 2018年 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 御手洗 光祐、奥畑 亮、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 2 法に基づいた薄膜板材料に適用可能な熱伝導率測定法の開発
3. 学会等名 2017年春季<第64回>応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺 健太郎、宮崎 雄介、御手洗 光祐、奥畑 亮、中村 芳明
2. 発表標題 有機膜埋め込みによるナノウォール構造の熱伝導率測定法の開発
3. 学会等名 2017年春季<第64回>応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口 達彦、宮本 拓、奥畑 亮、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 Si(001)基板上エピタキシャルGe薄膜の熱電特性
3. 学会等名 2017年春季<第64回>応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 ナノドット含有Si薄膜における構造と出力因子の関係
3. 学会等名 2017年春季<第64回>応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、渡辺 健太郎、吉川 純、中村 芳明
2. 発表標題 ZnOナノワイヤ埋め込み構造の出力因子増大効果の解明
3. 学会等名 2017年春季<第64回>応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、渡辺 健太郎、吉川 純、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 ナノワイヤ埋め込み効果による透明ZnO薄膜の熱電性能向上
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成28年度第3回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルb-FeSi ₂ ナノドット含有Si薄膜の作製とその熱電特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成28年度第3回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安岡 晃太、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 溶液成長法による金属上ZnOナノ薄膜構造の形成
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成28年度第2回講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金子 航大、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 低温スピノドーピング法によるSi基板上 型熱電モジュールの作成
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成28年度第2回講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 急峻界面をもつエピタキシャルナノ構造を用いたフォノン輸送制御
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡辺 健太郎、山阪 司祐人、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルGeナノドット含有Si薄膜における熱伝導率の低減
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奥畑 亮、上田 智広、成瀬 延康、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 GaドーブしたSi層/極薄Si酸化膜における熱伝導率の低減
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 谷口 達彦、坂根 駿也、青木 俊輔、奥畑 亮、渡辺 健太郎、鈴木 健之、藤田 武志、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 Si(111)基板上エピタキシャル -FeSi ₂ 薄膜の熱電特性
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、澤野 憲太郎、中村 芳明
2. 発表標題 鉄シリサイドナノドット構造制御によるSi薄膜の熱電物性向上
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 石部 貴史、渡辺 健太郎、吉川 純、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 ZnOナノワイヤ埋め込み構造の形成とその熱電特性
3. 学会等名 2016年秋季<第77回>応用物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山阪 司祐人、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 エピタキシャルGeナノドットを用いたSi系熱電材料の高性能化
3. 学会等名 第13回日本熱電学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山阪 司祐人、渡辺 健太郎、坂根 駿也、中村 芳明
2. 発表標題 極小エピタキシャルGeナノドット含有Siナノ構造における熱伝導制御
3. 学会等名 第53回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奥畑 亮、渡辺 健太郎、池内 賢朗、石田 明広、中村 芳明
2. 発表標題 2 法による熱伝導率測定の汎用性向上
3. 学会等名 第53回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2016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特性制御とSi系熱電材料開発
3. 学会等名 日本金属学会 時限研究会 第四回エレクトロニクス薄膜材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂根駿也、谷口達彦、渡辺健太郎、中村芳明
2. 発表標題 Si基板上への鉄シリサイド薄膜構造形成とその熱電物性
3. 学会等名 『第28回シリサイド系半導体と関連物質研究会 (招待講演)』
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura,
2. 発表標題 Nanoarchitecture design for independent control of carrier and phonon transports
3. 学会等名 Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings & Interfaces (Parcsurf2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe, Shuto Yamasaka, Takafumi Ishibe, Shunya Sakane, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Independent control of phonon and electron transport in Si-based nanoarchitectures with epitaxial Ge nanodots
3. 学会等名 The 1st Asian Conference on Thermal Sciences (ACTS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shunya Sakane, Kentaro Watanabe, Tatsuhiko Taniguchi, Masayuki Isogawa, Shuto Yamasaka, Shinya Tsurusaki, Shotaro Takeuchi, Akira Sakai, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Size and shape control of epitaxial -FeSi_2 nanodots in Si-based nanoarchitecture toward advanced thermoelectric materials
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuhiko Taniguchi, Shunya Sakane, Shunsuke Aoki, Kentaro Watanabe, Takeyuki Suzuki, Takeshi Fujita, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 The Growth of High Quality Epitaxial -FeSi_2 Thin Films by Solid Phase Epitaxy
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Watanabe, Shuto Yamasaka, Shunya Sakane, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Independent control of phonon and electron transport in Si films including epitaxial Ge nanodots
3. 学会等名 The 35th International Conference & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuhiko Taniguchi, Shunya Sakane, Shunsuke Aoki, Kentaro Watanabe, Takeyuki Suzuki, Takeshi Fujita, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Thermoelectric properties of epitaxial -FeSi_2 thin films/Si(111)
3. 学会等名 The 35th International Conference & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takafumi Ishibe, Kentaro Watanabe, Takeshi Fujita, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Novel ZnO-based buried nanowire structure for high performance thermoelectric materials
3. 学会等名 The 35th International Conference & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ryo Okuhata, Kentaro Watanabe, Satoaki Ikeuchi, Akihiro Ishida, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Development of 2 method with high versatility applicable to thermoelectric thin films
3. 学会等名 The 35th International Conference & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 原子レベル制御したナノ構造界面と界面輸送
3. 学会等名 第2回フォノンエンジニアリング研究グループ研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田 史、石部 貴史、渡辺 健太郎、中村 芳明
2. 発表標題 熱伝導率制御に向けた非整合チムニラダー構造FeGeg /Siのエピタキシャル成長
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 芳明
2. 発表標題 薄膜熱電素子開発に向けたナノ構造材料の設計と作製
3. 学会等名 応用物理学会応用電子物性分科会主催 応用電子物性分科会 研究例会 熱電素子のIoT応用/新規材料開発の最前線（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 留田 純希、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 SnO ₂ 薄膜における結晶成長方位制御による熱電出力因子増大
3. 学会等名 第15回日本熱電学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雛川 貴弘、坂根 駿也、中村 芳明
2. 発表標題 半金属 δ -CoSi 薄膜のSi基板上への成長とその熱電性能
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂根 駿也、柏野 真人、渡辺 健太郎、鎌倉 良成、森 伸也、藤田 武志、中村 芳明
2. 発表標題 Au添加SiGeバルク熱電材料の構造とその高出力因子
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石部 貴史、留田 純希、成瀬 延康、中村 芳明
2. 発表標題 変調ドーピングエピタキシャル界面導入によるZnO薄膜の出力因子増大
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakamura and Takafumi Ishibe
2. 発表標題 Phonon transport confinement and carrier transport control using Si-based nanostructure interfaces
3. 学会等名 NMHT-VI: Nanoscale and Microscale Heat Transfer 2018 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂根 駿也、中村 芳明
2. 発表標題 Coドーブしたエピタキシャルb-FeSi ₂ 薄膜/Siの作製とその熱電特性
3. 学会等名 第18回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雛川 貴弘、坂根 駿也、中村 芳明
2. 発表標題 熱電応用に向けたSi基板上CoSi薄膜の形成技術開発
3. 学会等名 第18回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsukasa Terada, Takafumi Ishibe, and Yoshiaki Nakamura
2. 発表標題 Modulation of c Lattice Parameter in Epitaxial FeGeg Nanocrystals on Si
3. 学会等名 ACSIN-14&ICSPM26 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2018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 Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Yuichiro Yamashita, and Yoshiaki Nakamura
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 上松 悠人、谷口 達彦、細田 凌矢、石部 貴史、間野 高明、大竹 晃浩、中村 芳明
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、宮戸 祐治、石部 貴史、中村 芳明
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、寺田 吏、石部 貴史、中村 芳明
2. 発表標題 独自エビタキシャル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 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、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BaSi ₂ 薄膜の低熱伝導率とその熱輸送機構
3. 学会等名 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、石部 貴史、成瀬 延康、目良 裕、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明
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 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、近田 尋一郎、谷内 卓、山下 雄大、佐藤 拓磨、末益 崇、中村 芳明
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 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 小松原 祐樹、宮戸 祐治、石部 貴史、中村 芳明
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、石部 貴史、藤田 武志、鎌倉 良成、森 伸也、中村 芳明
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 Tatsuhiko Taniguchi, Takafumi Ishibe, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, and Yoshiaki Nakamura
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 Takafumi Ishibe, Nobuyasu Naruse, Yuichiro Yamashita, and Yoshiaki Nakamura
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, Takafumi Ishibe, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, Nobuya Mori, and Yoshiaki Nakamura
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) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細田 凌矢、谷口 達彦、石部 貴史、藤井 武則、中村 芳明
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、石部 貴史、彌田 智一、中村 芳明
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

〔図書〕 計3件

1. 著者名 中村 芳明 共著	4. 発行年 2017年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 245, 8 図版14
3. 書名 フォノンエンジニアリング	

1. 著者名 中村芳明	4. 発行年 2017年
2. 出版社 (公社)日本セラミックス協会	5. 総ページ数 8
3. 書名 極薄Si酸化膜技術を用いたナノ構造界面設計による熱電物性制御、CERAMICS、(セラミックス 52, 71-77 (2017).)	

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 96-102
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	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 Kentaro) (90409376)	東京都市大学・工学部・教授 (32678)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	鎌倉 良成 (Kamakura YOSHINARI) (70294022)	大阪工業大学・情報科学部・教授 (34406)	~2018年度まで 大阪大学, 大学院工学研究科, 准教授 として研究に参加
連携研究者	渡辺 健太郎 (WATANABE KENTARO) (40582078)	信州大学・繊維学部・准教授 (13601)	~2017年度まで 大阪大学, 大学院基礎工学研究科, 助教 として研究に参加