

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06347

研究課題名(和文)新規ナノシート束の創生，構造制御とエネルギーデバイスへの応用

研究課題名(英文) Development of advanced nanosheet bundles, structural control and applications to energy devices

研究代表者

立岡 浩一 (Tatsuoka, Hirokazu)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：40197380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ナノシートの積層構造からなるナノシート束を作製し，そのモルフォロジー及び構造制御を行うプロセスを開発した。

粉末及び基板上的CaSi<sub>2</sub>系結晶をテンプレートとしてIP6処理，或いはNH<sub>4</sub>Clや金属塩化物とともに熱処理を施す事によりSiナノシート束を作製し微細構造を比較した。他にMg<sub>2</sub>Si/Si及びMnSi<sub>1.7</sub>/Siナノシート複合体，Siナノシート/Siナノワイヤ複合体，Mg<sub>2</sub>Si，MnSi<sub>1.7</sub>，Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>，Ge，CaF<sub>2</sub>それぞれのナノシート束，CaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>よりCaを脱離した酸化物ナノシート束を作製した。さらにMg<sub>2</sub>Siナノシート束粉末にSnを添加したペレットを作製した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CaSi<sub>2</sub>等の層状結晶からある原子を引き抜く事だけでなく，異種原子を添加する事により化合物ナノシート束を作製できた事，さらにフッ化水素酸処理を施す事によりCaF<sub>2</sub>ナノシート束を作製したように，ひとつの出発原料から様々なパラエティーに富んだナノシート束が作製出来る事を示した。ナノシート束からなる粉末より作製したペレットはバルクの場合と比べ，熱伝導率が大幅に減少している事が分かった。これらのナノシート束は熱電発電に有効である。また基板にも作製出来ることからLiイオン電池の電極に有用である。同手法で作製したSiナノシート/Siナノワイヤ複合体とあわせ，さらなる構造制御による機能化が期待される。

研究成果の概要(英文)：Synthesis techniques of a variety of compound nanosheet bundles has been developed, and structural control and morphological modification of the bundles were studied. Si nanosheet bundles were synthesized by IP6 treatment in aqueous solution, or heat treatment with NH<sub>4</sub>Cl or metal chlorides, using CaSi<sub>2</sub>-based crystal powder or CaSi<sub>2</sub> domains grown on substrates, as templates, and their detailed structural properties were compared. In addition, Mg<sub>2</sub>Si/Si and MnSi<sub>1.7</sub>/Si nanosheet composites, Mg<sub>2</sub>Si nanosheet bundles, Si nanosheet / Si nanowire composites, MnSi<sub>1.7</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Ge, and CaF<sub>2</sub> nanosheet bundles, oxide nanosheets in which Ca is desorbed from CaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>, were also synthesized. Furthermore, pellets were prepared using Mg<sub>2</sub>Si nanosheet bundle powders by thermal treatment with Sn powders.

研究分野：半導体工学

キーワード：シリサイド 化学気相成長法 結晶成長 ナノシート ナノ構造制御 テンプレート結晶粒 熱電素子 自然エネルギー

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

低次元物質ではバルクにない機能の発現が期待され、新しい機能を有したデバイス、より高性能化したデバイスの実現が期待されている。ナノ構造の応用として、熱電発電素子、Li イオン電池や太陽電池、環境応用のための触媒担持媒体など、バルク並みの大きな結晶、大面積を要するデバイスへの応用がある。そこで大型結晶、大面積に渡って均一にナノ構造の作製が可能な作製プロセスを開発する必要がある。さらに応用の用途、条件によってナノ構造の形態や形状を最適化する必要がある。しかし、これまでのようにアレイ状或いはランダムに成長したナノワイヤではそれらの方向を揃え束ねてデバイスに応用する事は困難である。そこで本研究では、ナノシートに焦点を当て様々なナノシート及びナノシート束のモルフォロジー、形状を制御できる作製プロセスを確立する。

### 2. 研究の目的

本研究は、ナノシートの積層構造からなるナノシート束を作製し、そのモルフォロジー及び構造制御を行うプロセスを開発する事を目的とした。すなわちナノシート束のモルフォロジーの造り分け、またナノシート各々の組成・結晶構造を造り分ける制御プロセスを確立した。さらにナノシート束の物性のモルフォロジー・形状依存性を検証した。作製したナノ構造の応用として熱電半導体素子の電極として採用し、熱電エネルギー変換効率の向上を目的とした。生成したナノシート束に異種元素を添加し、新規なナノシート束、層状物質を創造した。

### 3. 研究の方法

CaSi<sub>2</sub>粉末およびSi基板上に成長させたCaSi<sub>2</sub>マイクロウオールからIP6(フィチン酸)水溶液によりCaを脱離しSiナノシート束を作製した。CaSi<sub>2</sub>をNH<sub>4</sub>Cl、潮解したMgCl<sub>2</sub>、FeCl<sub>2</sub>、FeCl<sub>3</sub>とともに熱処理を施す事によりSiナノシート束を作製し微細構造を比較した。

CaSi<sub>2</sub>粉末およびSi基板上に成長させたCaSi<sub>2</sub>マイクロウオールを潮解しないよう保存したMgCl<sub>2</sub>とともに熱処理を施す事により、SiナノシートにMg<sub>2</sub>Siを堆積させMg<sub>2</sub>Si/Siナノシートコンポジットを作製した。さらにソースであるMgCl<sub>2</sub>にMg金属を添加することによりMg<sub>2</sub>Si生成が促進されたMg<sub>2</sub>Siナノシート束を作製した。

一方、CaSi<sub>2</sub>結晶をMnCl<sub>2</sub>/NH<sub>4</sub>Cl雰囲気中にて熱処理を施すことによりSiナノシート/Siナノワイヤ複合体を作製した。さらに熔融塩法によりMnSi<sub>1.7</sub>が優先的に成長したシリサイドナノシート束を作製した。CaSi<sub>2</sub>結晶粉末を適量のH<sub>2</sub>Oも含むO<sub>2</sub>ガスとともに過剰のMgCl<sub>2</sub>を添加し熱処理を施す事によりマグネシウムシリケート(Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)ナノシート束を作製した。さらにCaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>よりCaを脱離し酸化物ナノシート束を作製した。Ca及びGeより不活性ガス雰囲気中の熱処理によりCaGe<sub>2</sub>結晶を作製し、続くIP6処理によりGeナノシート束を作製した。その他CaSi<sub>2</sub>粉末にフッ化水素酸処理を施す事によりCaF<sub>2</sub>ナノシート束を作製した。

作製したMg<sub>2</sub>Siナノシート束粉末およびGeナノシート束粉末を、それぞれSn粉末と混合し、整形、熱処理を施す事によりペレットを作製した。

### 4. 研究成果

ナノシート束のモルフォロジーを造り分け、さらにナノシート各々の組成・結晶構造を造り分ける制御プロセスを確立した。図1にSi基板上に成長させたCaSi<sub>2</sub>マイクロウオールからIP6(フィチン酸)水溶液及びFeCl<sub>2</sub>雰囲気による熱処理によりCaを脱離し作製したSiナノシート束の走査電子顕微鏡(SEM)像を示す<sup>1)</sup>。ナノシート束は見かけ上の厚さ10 nm程度のシートが空間を介し積み重なった構造をしている。これらSiナノシート束の微細構造と光学特性を評価したところ、Siシート束からのPL発光はCaSi<sub>2</sub>のc軸方向の長周期構造を引き継いだ~1nmの超格子構造による発光である事が示唆された(図2)<sup>1)</sup>。

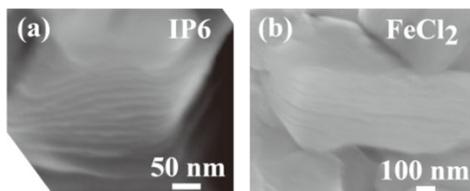


図1. Si基板上に成長させたCaSi<sub>2</sub>よりIP6及びFeCl<sub>2</sub>を用いて作製したSiナノシート束のSEM像<sup>1)</sup>。

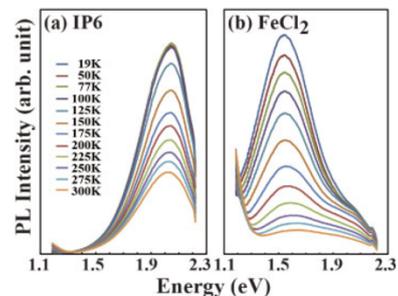


図2. Si基板上に作製したSiナノシート束のフォトルミネッセンススペクトル<sup>1)</sup>。

CaSi<sub>2</sub>をそれぞれFeCl<sub>3</sub>、FeCl<sub>2</sub>、潮解したMgCl<sub>2</sub>及びNH<sub>4</sub>Cl雰囲気による熱処理を施す事により作製したSiナノシート束の微細構造を比較した。それぞれのナノシート束のSEM像、透過電子顕微鏡(TEM)像、走査透過電子顕微鏡(STEM)像、エネルギー分散形X線分光(EDS)マッピング

を図3に示す<sup>2)</sup>. ナノシート束は概して見かけ上の厚さ数十から概ね 100 nm 程度のシートが空間を介し、また部分的にシートがお互いに結合し積み重なった構造をしている. ただしナノシートは更に薄いナノシートに剥離する. それぞれのナノシートの見かけ上の厚さが、用いる塩化物により変化する事が分かった.

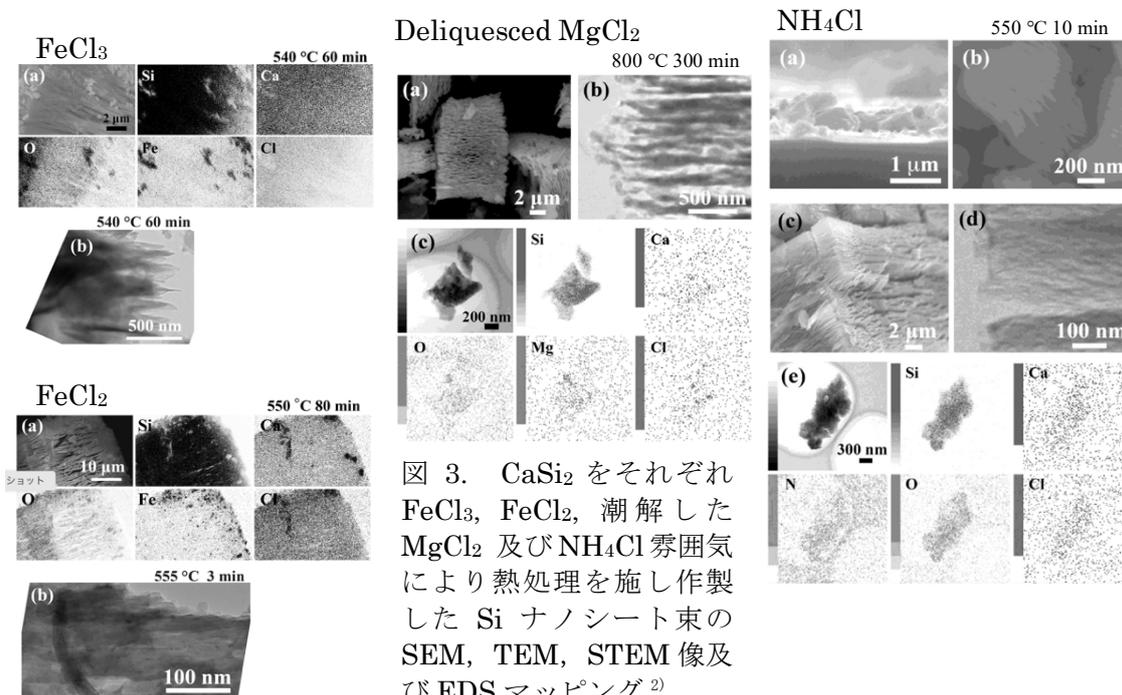


図 3.  $\text{CaSi}_2$  をそれぞれ  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ , 潮解した  $\text{MgCl}_2$  及び  $\text{NH}_4\text{Cl}$  雰囲気により熱処理を施し作製した Si ナノシート束の SEM, TEM, STEM 像及び EDS マッピング<sup>2)</sup>.

従来の Si ナノシート束の構造をもとに Si ナノシートに  $\text{Mg}_2\text{Si}$  を堆積させ作製した  $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{Si}$  ナノシート束 コンポジットの SEM, STEM 像及び EDS マッピングを図4に示す<sup>3)</sup>. これは  $\text{CaSi}_2$  結晶粉末を乾燥雰囲気中に保存した  $\text{MgCl}_2$  を用いて熱処理を施す事により得られた. またソースである  $\text{MgCl}_2$  に Mg 金属を添加することにより  $\text{Mg}_2\text{Si}$  生成が促進された  $\text{Mg}_2\text{Si}$  ナノシート束を作製した. 得られたナノシート束構造の微細構造を明らかにし、その作製条件依存性よりナノシート束の生成メカニズムを考察した.

$\text{CaSi}_2$  結晶を  $\text{MnCl}_2/\text{NH}_4\text{Cl}$  雰囲気中にて熱処理を施すことにより作製した Si ナノシート/Si ナノワイヤ複合体の SEM 及び TEM 像を図5に示す<sup>4)</sup>. これは添加された Mn が Si ナノワイヤ成長の触媒として作用すると考えられる. この熱処理の過程で熱処理条件をかえる事により単相  $\text{MnSi}_{1.7}$  と Si ナノシートとのコンポジットが生成される作製条件を見出した. またそれらナノシート束の微細構造を明らかにし生成メカニズムを考察した. さらに熔融塩法により  $\text{MnSi}_{1.7}$  が優先的に成長したシリサイドナノシート束を作製した.

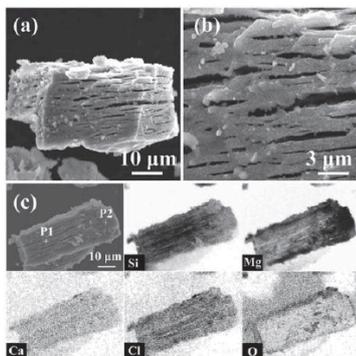


図 4.  $\text{CaSi}_2$  の  $\text{MgCl}_2$  による熱処理により作製した  $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{Si}$  ナノシート束 コンポジットの SEM, STEM 像及び EDS マッピング<sup>3)</sup>.

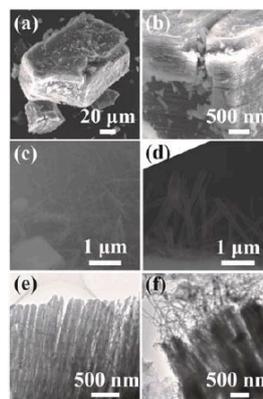


図 5.  $\text{CaSi}_2$  の  $\text{MnCl}_2/\text{NH}_4\text{Cl}$  による熱処理により作製した Si 系ナノシート/ナノワイヤ複合体の SEM 及び TEM 像<sup>4)</sup>.

$\text{CaGe}_2$  結晶粒に IP6 処理を施す事により作製した Ge ナノシートを超音波印加により Ge ナノシ

ート薄片を分離した. 図 6 (a), (b) 及び (c) はそれぞれ水溶液表面に浮遊, 水溶液中に浮遊および容器底に堆積した Ge ナノシート剥離片をシート面に垂直の方向から観察した TEM, 高分解能 TEM (HRTEM) 像及び高速フーリエ変換 (FFT) パターンである<sup>5)</sup>. 超音波印加により薄片を, その大きさによって分離する事ができた. これによりナノシートの物性を揃えたナノシート束を得ることが期待出来る. また図 6 (d) は水溶液中に浮遊したナノシート束を断面方向に観察した TEM 像であり, ナノシートが束構造になっている事がよく分かる<sup>5)</sup>. フリースタANDINGな Ge ナノシート束が得られた事により材料設計の幅が広がり, Si 系ナノシート束との融合により熱電発電素子などへの応用が期待されている.  $\text{CaSi}_2$  結晶粉末を適量の  $\text{O}_2$  ( $\text{H}_2\text{O}$  も含むと考えられる) とともに過剰の  $\text{MgCl}_2$  を添加し熱処理を施す事により作製したマグネシウムシリケート ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) ナノシート束の SEM 像を図 7 に示す<sup>6)</sup>. 見かけ上マイクロメートルオーダーに見えるシートはさらに薄く剥離する. また熱処理中の  $\text{MgCl}_2/\text{CaSi}_2$  比,  $\text{O}_2$  濃度が高いほど薄片化が促進されている.  $\text{CaSi}_2$  粉末にフッ化水素酸処理を施す事により作製した  $\text{CaF}_2$  ナノシート束の SEM 及び TEM 像を図 8 に示す<sup>7)</sup>. これらはともにバイオコンパチブルな材料であり, 医療, 環境分野への応用も期待できる. さらに  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$  より Ca を脱離する事により作製した酸化物ナノシート束の SEM, TEM, HRTEM 像及び FFT パターンを図 9 に示す<sup>8)</sup>.  $\text{CaSi}_2$  以外の結晶をテンプレートとして用いたナノシート束が作製出来る事が示され, より応用が広がるものと期待できる.

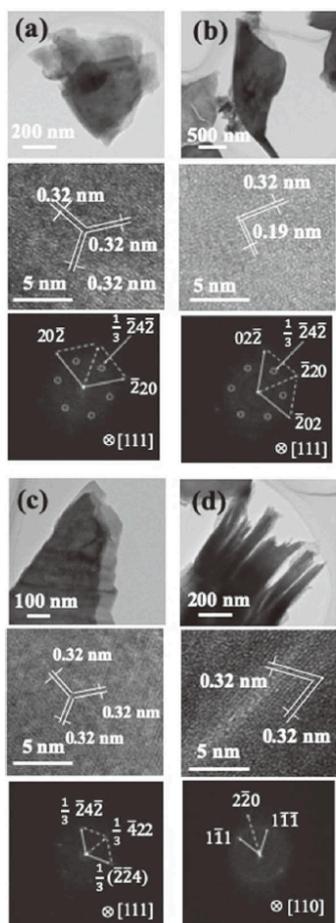


図 6.  $\text{CaGe}_2$  の IP6 処理により作製した (a) 水溶液表面に浮遊, (b) 水溶液中に浮遊, 及び (c) 容器底に堆積した Ge ナノシート剥離片をシート面に垂直な方向から観察した TEM, HRTEM 像及び FFT パターン, (d) 水溶液中に浮遊した剥離片を断面方向に観察した TEM, HRTEM 像及び FFT パターン<sup>5)</sup>.

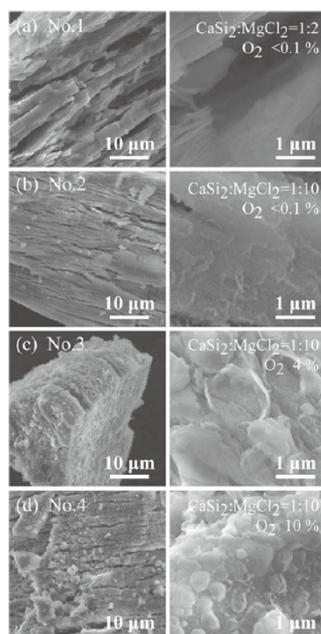


図 7.  $\text{CaSi}_2$  の酸素 (水分) を含む  $\text{MgCl}_2$  雰囲気下における熱処理により作製した  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  ナノシート束の SEM 像<sup>6)</sup>.

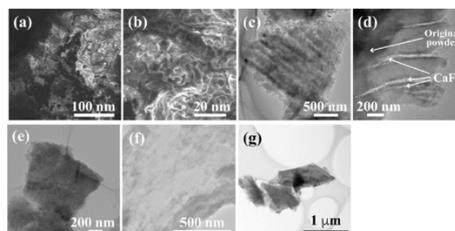


図 8.  $\text{CaSi}_2$  の HF 処理により作製した  $\text{CaF}_2$  ナノシート束の SEM 及び TEM 像<sup>7)</sup>.

この粉末状の  $\text{Mg}_2\text{Si}$  ナノシート束と Sn 微粉末を, モル比  $\text{Mg}_2\text{Si}:\text{Sn}=1:3$  にて混合, 室温プレスにより整形後, アルゴン雰囲気中 200 度にて 30 分の熱処理を施す事によりペレットを作製した. ここで  $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{Si}$  ナノシート作製時において Mg を過剰に供給する事により, 作製したペレットの室温における熱電特性は n 型で導電率  $5 \times 10^3$  S/m, ゼーベック係数 0.59 mV/K であった. またバルクと比べ熱伝導率の減少がみられ 600K における熱伝導率は 1.6 W/mK を得た.

一方  $\text{CaGe}_2$  結晶に IP6 処理を施す事により作製した Ge ナノシート束に Sn を添加して作製したペレットにおいても、その熱伝導率は、バルクの場合と比べ、熱伝導率が大幅に減少している事が分かった。

$\text{CaSi}_2$  より Ca を引き抜く事だけでなく、Mg 原子を添加する事により化合物ナノシート束が得られたことは Si ナノシートの構造改変技術の発展において重要なステップであると考えられる。さらに  $\text{CaSi}_2$  粉末にフッ化水素酸処理を施す事により  $\text{CaF}_2$  ナノシート束を作製した。このように  $\text{CaSi}_2$  ひとつの出発原料を様々な方法で処理する事により様々なバラエティーに富んだナノシート束が作製できる事を示した。これらのナノシート束コンポジット、ナノシート束は熱電発電および Li イオン電池の電極に有用である。同手法で作製した Si ナノシート/Si ナノワイヤ複合体とあわせ、さらなる構造制御による機能化が期待される。

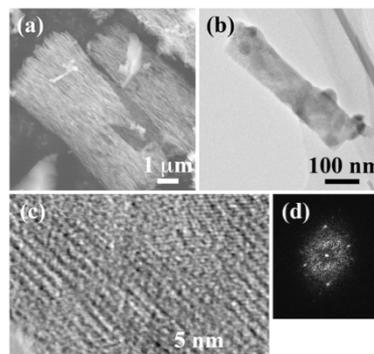


図 9.  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$  を HF 及び IP6 処理により作製した酸化物ナノシート束の SEM, TEM, HRTEM 像及び FFT パターン<sup>8)</sup>.

#### 参考文献

- 1) P. Yuan, R. Tamaki, S. Kusazaki, N. Atsumi, Y. Saito, Y. Kumazawa, N. Ahsan, Y. Okada, A. Ishida, and H. Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 04FJ01 (2018).
- 2) X. Meng, P. Yuan, K. Sasaki, K. Tsukamoto, S. Kusazaki, Y. Saito, Y. Kumazawa, and H. Tatsuoka, e-J. Surf. Sci. Nanotech. 16, 218 (2018).
- 3) Y. Huang, R. Tamaki, P. Yuan, Y. Kumazawa, N. Atsumi, V. Saxena, N. Ahsan, Y. Okada, Y. Hayakawa, and H. Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys. 58, SBBK04 (2019).
- 4) S. Itoh, Y. Numazawa, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, N. Takahashi, and H. Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 59, SFFD01 (2020).
- 5) V. Saxena, N. Atsumi, Y. Shimura, and H. Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 59, SGGK08 (2020).
- 6) Y. Numazawa, S. Itoh, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, Y. Hayakawa, and H. Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 59, SFFD02 (2020).
- 7) Y. Ono, R. Ogino, M. Sakaida, K. Sasaki, N. Atsumi, Y. Numazawa, S. Itoh, T. Koga, Y. Huang, Y. Shimura, H. Tatsuoka, and N. Takahashi, Jpn. J. Appl. Phys. Conf. Proc., accepted.
- 8) 草崎真也, 高橋尚久, 立岡浩一, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Ono, R. Ogino, M. Sakaida, K. Sasaki, N. Atsumi, Y. Numazawa, S. Itoh, T. Koga, Y. Huang, Y. Shimura, H. Tatsuoka, and N. Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis of CaF <sub>2</sub> nanostructures from calcium silicide powders in diluted aqueous HF solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys. Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Y. Numazawa, S. Itoh, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, Y. Hayakawa, and H. Tatsuoka	4. 巻 59 (SF)
2. 論文標題 Topological synthesis of Mg-based silicate nanosheet bundles from CaSi <sub>2</sub> crystal powders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SFFD02-1 - 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab71dd	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 V. Saxena, N. Atsumi, Y. Shimura, and H. Tatsuoka	4. 巻 59 (SG)
2. 論文標題 Synthesis of Ge-based nanosheet bundles using calcium germanides as templates in IP6 aqueous solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SGGK08-1 - 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab69df	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 S. Itoh, Y. Numazawa, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, N. Takahashi, and H. Tatsuoka	4. 巻 59 (SF)
2. 論文標題 Synthesis of Si nanowire/nanosheet complexes from CaSi <sub>2</sub> crystals by thermal annealing under MnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl vapors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SFFD01-1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab6461	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 Y. Huang, R. Tamaki, P. Yuan, Y. Kumazawa, N. Atsumi, V. Saxena, N. Ahsan, Y. Okada, Y. Hayakawa, and H. Tatsuoka	4. 巻 58 (SB)
2. 論文標題 Synthesis, Structural and Photoluminescence Properties of Mg <sub>2</sub> Si/Si Nanocomposites Consisting of Si Nanosheet Bundles and Mg <sub>2</sub> Si Deposits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SBBK04-1 - 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0279/meta	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 Yalei Huang, Peiling Yuan, Yuki Kumazawa, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Vimal Saxena, Kazuma Konishi, Yuya Kujime, Tubasa Kato, Kaito Tanaka, Yasuhiro Hayakawa, Hirokazu Tatsuoka	4. 巻 386
2. 論文標題 Morphological and Structural Modifications of Si-Based Nanostructures Synthesized from Metal Silicide Templates in IP <sub>6</sub> , Acid and Metal Chloride Solutions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 61-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://www.scientific.net/DDF.386.61">https://www.scientific.net/DDF.386.61</a>	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 Xiang Meng, Peiling Yuan, Kenta Sasaki, Keisuke Tsukamoto, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Yuki Kumazawa and Hirokazu Tatsuoka	4. 巻 16
2. 論文標題 Formation of Si-based Nanosheet Bundles and Morphological Modification of CaSi <sub>2</sub> Crystals by Thermal Treatment using Chloride Compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 218-224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/ejssnt/16/0/16_218/_article">https://www.jstage.jst.go.jp/article/ejssnt/16/0/16_218/_article</a>	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 Yuan Peiling, Tamaki Ryo, Kusazaki Shinya, Atsumi Nanae, Saito Yuya, Kumazawa Yuki, Ahsan Nazmul, Okada Yoshitaka, Ishida Akihiro, Tatsuoka Hirokazu	4. 巻 57
2. 論文標題 Structural and photoluminescence properties of Si-based nanosheet bundles rooted on Si substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 04FJ01 ~ 04FJ01-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FJ01	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 Yuan P., Sasaki K., Nakayama M., Kumazawa Y., Hikichi K., Tatsuoka H.	4. 巻 -
2. 論文標題 STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Si-BASED NANOWIRE AND NANOSHEET BUNDLES	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics, Chemistry and Application of Nanostructures Reviews and Short Notes to Nanomeeting-2017	6. 最初と最後の頁 11~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789813224537_0002	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 Yuan Peiling, Tamaki Ryo, Suzuki Hiroaki, Sasaki Kenta, Nakayama Makoto, Saito Yuya, Kusazaki Shinya, Kumazawa Yuki, Meng Xiang, Ahsan Nazmul, Okada Yoshitaka, Tatsuoka Hirokazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Synthesis of flowerlike Si nanostructures on Si substrates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 05DE05 ~ 05DE05-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.05DE05	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47件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 古賀 友也、沼澤 有信、志村 洋介、高橋 尚久、立岡 浩一
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> 粉末のMgCl <sub>2</sub> /Mg雰囲気処理によるMg <sub>2</sub> Siナノシート束の作製
3. 学会等名 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 伊藤 聖悟、西川 勇大、沼澤 有信、志村 洋介、高橋 尚久、立岡 浩一
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> 粉末のMnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl雰囲気処理によるMnSi <sub>1.7</sub> /Siナノシート束の作製
3. 学会等名 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 Y. Huang, R. Tamaki, Y. Ono, V. Saxena, N. Ahsan, Y. Okada, Y. Shimura, H. Mimura, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Structural and Morphological Properties of CaF <sub>2</sub> Nanostructures Synthesized from Ca-Silicide Crystals
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Numazawa, R. Tamaki, Y. Huang, V. Saxena, N. Ahsan, Y. Okada, Y. Shimura, H. Mimura, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Structural and Morphological Properties of Mg-silicate Nanosheet Bundles Synthesized from CaSi <sub>2</sub> Crystals
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saxena Vimal, 志村洋介, 立岡浩一
2. 発表標題 CaGe <sub>2</sub> をテンプレートとして作製したGe ナノシート束 の微細構造評価
3. 学会等名 日本材料学会「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 V. Saxena, Y. Shimura, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Ge-based Nanosheet Bundles Using Calcium Germanides as Templates in IP <sub>6</sub> Aqueous Solution
3. 学会等名 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤聖悟、沼澤 有信、小野 祥希、Yalei Huang、志村洋介、立岡 浩一、高橋 尚久
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> のMnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl蒸気下での熱処理により作製したSiナノワイヤ/ナノシート複合体の微細構造
3. 学会等名 第42回結晶成長討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沼澤有信, 伊藤聖悟, 小野祥希, 黄 垂磊, 立岡浩一, 志村洋介
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> 結晶のMgCl <sub>2</sub> 蒸気下での熱処理によるMg系シリケートナノシートバンドルの作製
3. 学会等名 第42回結晶成長討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Numazawa, S. Itoh, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Topological Synthesis of Mg-based Silicate Nanosheets from CaSi <sub>2</sub> crystals
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Electronics ( APAC Silicide 2019 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ono, Y. Numazawa, S. Itoh, Y. Huang, Y. Shimura, H. Tatsuoka, and N. Takahashi
2. 発表標題 Synthesis of CaF <sub>2</sub> Nanostructures from Calcium Silicide Powders in Diluted Aquarius HF Solution
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Electronics ( APAC Silicide 2019 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Itoh, Y. Numazawa, Y. Ono, Y. Huang, Y. Shimura, H. Tatsuoka, and N. Takahashi
2 . 発表標題 Synthesis of Si Nanowire/Nanosheet Complex Structures from CaSi <sub>2</sub> crystals by Thermal Treatment under MnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl Vapors
3 . 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Electronics ( APAC Silicide 2019 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yalei Huang, Vimal Saxena, Kaito Tanaka, Yasuhiro Hayakawa, Hirokazu Tatsuoka, Naohisa Takahashi
2 . 発表標題 Synthesis of Si-based Nanosheet Bundles using Metal Chlorides in Solutions
3 . 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Vimal Saxena, Hirokazu Tatsuoka, Yasuhiro Hayakawa, Naohisa Takahashi
2 . 発表標題 Synthesis & Characterization of Ge-based Low Dimensional Material from Zintl Phase Compound, CaGe <sub>2</sub>
3 . 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 伊藤 聖悟、沼澤 有信、翁 明イ、渥美 七虹、小野 祥希、黄 亜磊、立岡 浩一、高橋 尚久
2 . 発表標題 CaSi <sub>2</sub> のMnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl処理によるSiナノワイヤ/ナノシート複合体の作製
3 . 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 沼澤 有信、翁 明イ、伊藤 聖悟、渥美 七虹、小野 祥希、黄 亜磊、立岡 浩一、高橋 尚久
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> のMgCl <sub>2</sub> /Mg処理によるMg <sub>2</sub> Si/Siナノコンポジットの作製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野 祥希、渥美 七虹、伊藤 聖悟、沼澤 有信、黄 亜磊、立岡 浩一、高橋 尚久
2. 発表標題 カルシウムシリサイドのHF処理によるCaF <sub>2</sub> ナノ粒子の作製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaito Tanaka, Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Si-Based Nanostructures from CaSi <sub>2</sub> crystals in Solution
3. 学会等名 The 5th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Si-based nanowire and nanosheet bundles for energy device applications
3. 学会等名 4th International Conference on Nano Electronics Research Education 2018 (ICNERE 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chiu-Yen Wang, Yalei Huang, Vimal Saxena, Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Simple Syntheses of Si-Based Nanowire and Nanosheet Bundles
3. 学会等名 EMN 2018, Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 立岡浩一, Saxena Vimal
2. 発表標題 Ca欠損CaSi <sub>2</sub> 粉末より生成したSiナノシート束の微細構造
3. 学会等名 「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yalei Huang, Peiling Yuan, Yuki Kumazawa, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Vimal Saxena, Kazuma Konishi, Yuya Kujime, Tubasa Kato, Kaito Tanaka, Yasuhiro Hayakawa, and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Morphological and structural modifications of Si-based nanostructures synthesized from metal silicide templates in IP6, acid and metal chloride solutions
3. 学会等名 The Fourth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials ASCO-NANOMAT 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川合 健斗、鈴木 悠平、岡 晃人、姫田 悠矢、武澤 宏樹、熊田 剛大、島 圭佑、富田 基裕、立岡 浩一、ファイズ サレ、猪川 洋、松木 武雄、松川 貴、渡邊 孝信、池田 浩也
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> ウエハ上のSiワイヤの表面電位分布シミュレーション
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 黄 亜磊、玉置 亮、袁 佩玲、熊澤 佑貴、アーサン ナズムル、岡田 至崇、早川 泰弘、立岡 浩一
2. 発表標題 Fine Scale Structural Property of Mg <sub>2</sub> Si/Si Nanosheet Bundle Composites
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 Yalei Huang, Ryo Tamaki, Peiling Yuan, Yuki Kumazawa, Nanae Atsumi, Nazmul Ahsan, Yoshitaka Okada, Yasuhiro Hayakawa and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis, Structural and Photoluminescence Properties of Mg <sub>2</sub> Si/Si Nanosheet Bundle Composites
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. Yuan, R. Tamaki, K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Saito, S. Kusazaki, Y. Kumazawa, X. Meng, N. Ahsan, Y. Okada, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Photoluminescence of Superlattice-like Structures in Si-based Nanosheet Bundles
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 Y. Huang, R. Tamaki, P. Yuan, Y. Kumazawa, N. Ahsan, Y. Okada, Y. Hayakawa, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Mg <sub>2</sub> Si/Si Nanosheet Bundle Composites
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 Y. HuanP. Yuan, Y. Kumazawa, S. Kusazaki, Y. Saito, V. Savena, K. Konishi, Y. Kujime, T. Kato, and H. Tatsuoka
2. 発表標題 Structural modifications of Ca-deficient CaSi <sub>2</sub> crystals by Ca extraction using IP6 and Metal Chloride Solutions
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 Peiling Yuan, Yuki Kumazawa+, Shinya Kusazaki+, Yuya Saito+, Nanae Atsumi, Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Structural and Morphological Modification of Si-Based Nanosheets Synthesized by Thermal Treatment with Chloride Compounds
3. 学会等名 THERMEC '2018, INTERNATIONAL CONFERENCE on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木悠平, 岡晃人, 川合健斗, 熊田剛大, 島圭佑, 富田基裕, 立岡浩一, ファイズ サレ, 松木武雄, 渡邊孝信, 池田浩也
2. 発表標題 KFM によるゼーベック係数評価のための Si ワイヤの表面電位測定
3. 学会等名 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 草崎真也, 高橋尚久, 立岡浩一
2. 発表標題 酸性溶液処理による酸化粉末からのナノ構造物の作製
3. 学会等名 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 小西一摩, 久次米佑哉, 加藤翼, 熊澤佑貴, 高橋尚久, 立岡浩一
2. 発表標題 金属塩化物処理によるSi基ナノシート改質の試み
3. 学会等名 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 鈴木悠平, 岡晃人, 川合健斗, 立岡浩一, 猪川洋, 下村勝, 村上健司, ファイズ サレ, 池田浩也
2. 発表標題 表面電位顕微鏡を用いたナノ材料ゼーベック係数測定手法の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会電子デバイス(ED)・シリコン材料デバイス(SDM)合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 袁佩玲, 孟祥, 草崎真也, 齋藤優弥, 熊澤佑貴, 立岡浩一
2. 発表標題 金属塩化物蒸気中での熱処理によるCaSi <sub>2</sub> 結晶の構造変化
3. 学会等名 第46回結晶成長国内会議(JCCG-46)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirokazu Tatsuoka, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Yuki Kumazawa, Nanae Atsumi, Lixue Cheng, Peiling Yuan
2. 発表標題 Structural and morphological modification of nanowires and nanosheets
3. 学会等名 The International Conference on High-Performance Ceramics 2017 (CICC-2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Xiang Meng, Peiling Yuan, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Yuki Kumazawa, Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Formation of Si-based Nanosheet Bundles and Structural Modification of CaSi <sub>2</sub> Crystals by Thermal Treatment under Metal-Chloride Vapors
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Surface Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirokazu Tatsuoka, Yuki Kumazawa, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Nanae Atsumi, Peiling Yuan
2. 発表標題 Simple Syntheses of Si-Based Nanowires, Nanosheets and their Bundle Structures
3. 学会等名 2nd international Conference on advances in Materials Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 立岡浩一, 熊澤佑貴, 程立雪, 袁佩玲
2. 発表標題 IP6及び金属塩化物処理により作製したCa欠損CaSi <sub>2</sub> 結晶の構造
3. 学会等名 「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 P. Yuan, R. Tamaki, S. Kusazaki, N. Atsumi, Y. Saito, Y. Kumazawa, N. Ahsan, Y. Okada, H. Tatsuoka
2. 発表標題 Structural and Photoluminescence Properties of Si-based Nanosheet Bundles Rooted on Si Substrates
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 立岡浩一, 袁佩玲
2. 発表標題 フィチン酸水溶液及び金属塩化物処理によるSi基ナノシート束の作製
3. 学会等名 第30回シリサイド系半導体研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡晃人, 鈴木悠平, 川合健斗, マニ ナヴァニーザン, 立岡浩一, ファイズ サレ, 池田浩也
2. 発表標題 KFMを用いたSiの表面温度測定におけるトラップ電荷の影響
3. 学会等名 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 袁佩玲, 玉置亮, 程立雪, アーサン ナズムル, 岡田至崇, 立岡浩一
2. 発表標題 CaSi <sub>2</sub> 結晶のIP6処理により作製したSi基ナノシート束のフォトルミネッセンス及び微細構造
3. 学会等名 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 Hirokazu Tatsuoka, Yuki Kumazawa, Shinya Kusazaki, Yuya Saito, Nanae Atsumi, Peiling Yuan
2. 発表標題 Morphological and Crystalline Evolution of Si-Based Nanowires and Nanosheets
3. 学会等名 International Conference organized by Department of Physics and Nanotechnology (ICONN 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渥美七虹, 佐々木謙太, 袁佩玲, 立岡浩一
2. 発表標題 ボールミリング法を用いた Si 系ナノシート束の作製とその構造評価
3. 学会等名 第17回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 草崎真也, 齋藤優弥, 袁佩玲, 立岡浩一
2. 発表標題 FeCl <sub>2</sub> 蒸気中での Si 系ナノシートの作製
3. 学会等名 第17回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤優弥, 佐々木謙太, 熊澤佑貴, 草崎真也, 渥美七虹, 引地啓太, 袁佩玲, 立岡浩一
2. 発表標題 NH <sub>4</sub> Cl 処理により作製した Si 系ナノシート束の構造評価
3. 学会等名 第17回シリサイド系半導体・夏の学校
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 P. Yuan , K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Kumazawa, K. Hikichi, H. Tatsuoka
2. 発表標題 STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SI-BASED NANOWIRE AND NANOSHEET BUNDLES
3. 学会等名 NANOMEETING-2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuan, P, Saito, Y, Kusazaki, S, Kumazawa Y, Atsumi N, Tatsuoka H
2. 発表標題 Evolutionary Shape Modification of Semiconductor Nanostructures
3. 学会等名 International Conference on Energy Materials and Nanotechnology (ICEM3-2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 熱電変換素子及び熱電変換素子の製造方法	発明者 立岡浩一	権利者 国立大学法人 静岡大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-160450	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

Hiro Tatsuoka Lab., Shizuoka University <a href="https://wpp.shizuoka.ac.jp/tatsuoka/">https://wpp.shizuoka.ac.jp/tatsuoka/</a>
--

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
研究協力者	早川 泰弘  (Hayakawa Yasuhiro)  (00115453)	静岡大学・電子工学研究所・教授   (13801)	
研究協力者	池田 浩也  (Ikeda Hiroya)  (00262882)	静岡大学・電子工学研究所・教授   (13801)	

## 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
研究 協力者	志村 洋介  (Shimura Yosuke)  (40768941)	静岡大学・電子工学研究所・助教     (13801)	