

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04560

研究課題名（和文）多様な化合物ナノシート束の造り分け技術の確立とエネルギーデバイスへの応用

研究課題名（英文）Development of synthesis techniques to create a variety of compound nanosheet bundles and their 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） 3,200,000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、多様な化合物からなる新規のナノシート束を作製するプロセスを開発した。CaSi₂粉末及びSi基板上に成長させたCaSi₂マイクロウォールをテンプレートとしてMgCl₂/Mg雰囲気下にて熱処理を施すことによりMg₂Siナノシート束を作製した。またMg融液・溶融塩を用いたMg₂Siのナノシート束の作製方法を開発し、Mg₂Siナノシート束の品質向上を行った。さらに溶融塩を用いる方法によりMnSi_{1.7}ナノシート束の品質向上を行った。他にCrSi₂ナノロッド/Siナノシート複合体、Sr(Ca)-Si系化合物ナノフレーク、MgO系ナノフレークを作製した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のSiナノシート束の作製時において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、層状の結晶であるMgCl₂より層状のMg(OH)₂を介して積層したMgOナノフレークを作製出来た事、さらにフレーク状の副産物を伴いSr(Ca)-Si系化合物ナノフレークを作製できた事より、さらに様々なパラエティーに富んだナノシート束を作製出来る事が期待できる。また溶融金属・溶融塩を用いた合成が粉末材料においても有効である事が示された事は、粉末材料を作製する新たな結晶成長方法として発展が期待できる。さらに作製したシリサイドナノシート束は熱電発電に有効と期待できる。

研究成果の概要（英文）：Synthesis technique of novel nanosheet bundles composed of various compounds was developed. Using CaSi₂ powders or CaSi₂ micro-walls grown on Si substrates as templates, Mg₂Si nanosheet bundles were synthesized by heat treatment under MgCl₂/Mg atmosphere. In addition, the synthesis of Mg₂Si nanosheet bundles with improved structural quality was developed using Mg melt and MgCl₂-CaCl₂ related molten salt. Furthermore, it was also shown that the structural quality and its homogeneity of MnSi_{1.7} nanosheet bundles were improved when using MnCl₂-CaCl₂ related molten salts during the heat treatment. In addition, CrSi₂ nanorod/Si nanosheet composites, Sr(Ca)-Si compound nanoflakes, and MgO-based nanoflakes were synthesized.

研究分野：電気電子材料

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 テンプレート法 熱電特性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナノワイヤ、ナノシート等の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。また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、三次元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。二次元のナノ構造に着目した場合、一例として超格子を応用した電子デバイスが開発されデバイスの特性向上を促している。しかしそのサイズは概ねサブミクロン以下であり、ミリサイズ以上のデバイスには応用が難しい。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、ランダムに成長したナノシート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。よって大型結晶(大体积)、大面積に渡って、ナノ構造を応用に適した所望の形態で均一に束ねる作製プロセスを開発する事がエンジニアリング上重要である。

2. 研究の目的

本研究では、ナノシートに着目しナノシートの積層構造からなるナノシート束を作製し、さらに様々なナノシート及びナノシート束のモルフォロジー、形状を制御し、多様な化合物からなる新規のナノシート束を作製するプロセスを開発する事を目的とする。すなわち既存のナノシート束に異種元素を添加し、新規な化合物ナノシート束、層状物質を創造する。これにより低次元物性を有する大型のバルク材料を実現する。作製した低次元物性を発現する大型結晶の応用として熱電発電素子を考え、熱電特性を評価する。

3. 研究の方法

CaSi₂ 結晶粉末をテンプレートとして使用した。CaSi₂ および MnCl₂ 粉末をモル比 CaSi₂ : MnCl₂ = 1 : 1 とし、酸素濃度が 0.1% 未満の Ar 雰囲気下において石英容器内に充填後、ステンレス鋼セル内に密閉し、600~800 °C にて 0~10 時間のアニール処理を施した。ここでアニール時間 0 時間とは昇温時において設定温度に達した際速やかにヒーターをオフにする事に相当する。なお、MnCl₂ と CaCl₂ の融点はそれぞれ 654 °C と 772 °C であり、アニール温度 800 °C はそれぞれの融点よりも高い。

Mg₂Si ナノシート束については、最初に CaSi₂ のマイクロウォールを Si(111) 基板の上に成長した。MgCl₂/Mg 混合蒸気中にて 600 °C にて 2 時間のアニールによって、CaSi₂ マイクロウォールから Ca 原子を脱離し、さらに Mg を添加することによって作製された。MgCl₂/Mg 混合蒸気は、真空中にて MgCl₂ 粉末と Mg ボールの蒸発 (モル比 CaSi₂/MgCl₂/Mg = 1 : 2 : 8) によって供給された。

さらに鉄シリサイド、Ca 添加 Sr 系シリサイド、CrSi₂、MgO、MoO_x ナノシート、SiC 及び溶融塩を用いて作製したナノシートなど、多様な種類のナノシート束、ナノ構造体の作製を試み、それらの微細構造を評価した。

4. 研究成果

組成比の均一性、結晶品質が改善された構造均一性を持つ MnSi_{1.7} ナノシート束は、800 °C、10 時間の熱アニールによって得られた¹⁾。ナノシートの成長過程を調べるために、600 °C、0 時間、および 800 °C、0 時間のナノシートの構造評価を行った。

このとき CaCl₂ は CaSi₂ と MnCl₂ の反応の副産物として形成される。800 °C、0 時間のアニールを行った後 (洗浄前) には Ca および Cl は、100 μm 以上の丸い形状の生成物として Ca : Cl 比が 1 : 2 で分布した (図 1(a))。一方、CaSi₂ および MnCl₂ 粉末 (サイズ約 10~数十 μm) をソースとした Mn および Si は、わずかな量でその生成物内に散在した。この粒子を洗浄した水溶液を蒸発させた後に残った粉末の XRD パターンにおいて CaCl₂·4H₂O の形成が観察された (図 1(b))。このように Mn および Si がその生成物内に分布している結果は、Mn シリサイドが CaCl₂ 溶融塩である液相中にて生成された事を示唆している。その残留する塩化物を除去するために、脱イオン水とエタノールで数分間繰り返し洗浄した。比較のためソースとして用いた CaSi₂ および MnCl₂ 粉末の SEM 像を示す (図 1(c))。

Mn 原子は昇温時 600 °C のアニールによってナノシート束に堆積し始め、800 °C のアニールによってナノシート束内に不均一に分布した。その Mn 原子の分布の均一性は、800 °C、10 時間のアニールによって改善された (図 2)。600 °C、0 時間、800 °C、0 時間及び 800 °C、10 時間アニールされた粉末の XRD パターンを図 3 に示す。600 °C、0 時間のアニールでは CaSi₂ 相が残留し、Si と MnSi が生成された (図 3(a))。800 °C、0 時間のアニールでは CaSi₂ が消費され、Si、MnSi に加え MnSi_{1.7} が生成した (図 3(b))。アニール時間を 10 時間とすることにより MnSi_{1.7} の生成が支配的となった。ただし僅かな Si および MnSi が残留した (図 3(c))。このように MnSi_{1.7} を溶融塩中にてアニールを施す事により、気相法に比べて組成分布の均一なナノシート束を得た。そのナノシート束では、特定の結晶方位関係を有する異なる方向を向いたドメインが層状に積層した構造が認められた¹⁾。CaCl₂ は洗浄中に粉末から除去されたため、洗浄後の生成物中には CaCl₂ は観察されない。CaCl₂ 生成は CaSi₂ からの Ca の脱離を促すが、図 1(a) に示すように CaCl₂ に包ま

れたナノシートがみられるところから、Mn シリサイド生成後は液相 CaCl_2 として存在し、ソース粉末や Mn を液相内に閉じ込めナノシートへの Mn の均一な拡散を促す重要な役割を担っていると考えられる。またこの得られたナノシート束の粉末を、Sn 粉末と混合し、整形、アニールを施す事によりペレットを作製した。ペレットの熱伝導率は 0.58 W/mK 、電気伝導度は $2 \times 10^2 \text{ S/m}$ 、ゼーベック係数は $110 \mu\text{V/K}$ であった。さらに CaSi_2 結晶を大気雰囲気中にて MnCl_2 とともにアニールを施す事によりシート間の空間が少ないより緻密なナノシート束が得られた。

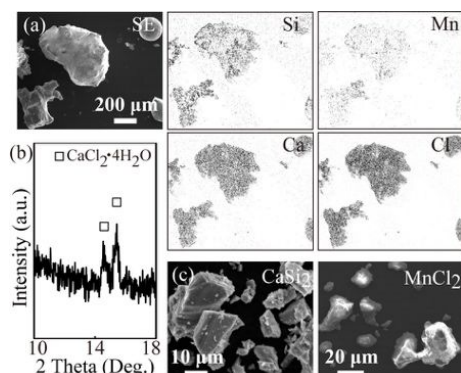


図 1. (a) 800°C , 0 時間にてアニールされた洗浄前の粉末の SEM 像と EDS マッピング, (b) 洗浄に用いた水溶液を蒸発させた後に得られた生成物の XRD パターン, (c) 典型的な CaSi_2 および MnCl_2 原料粉末の SEM 像.

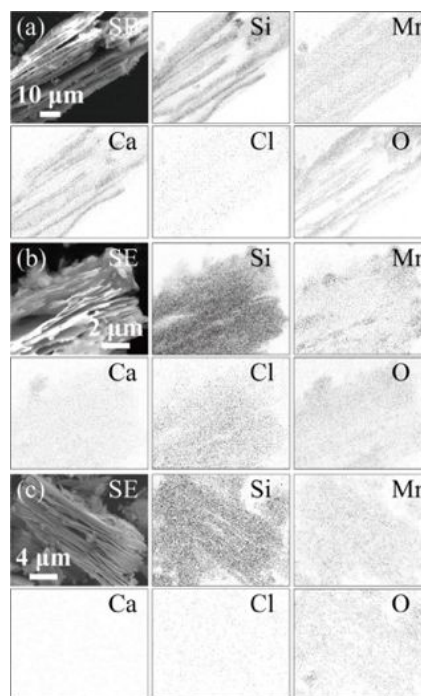


図 2. (a) 600°C , 0 時間, (b) 800°C , 0 時間, (c) 800°C , 10 時間にてアニールされた粉末の SEM 像と EDS マッピング.

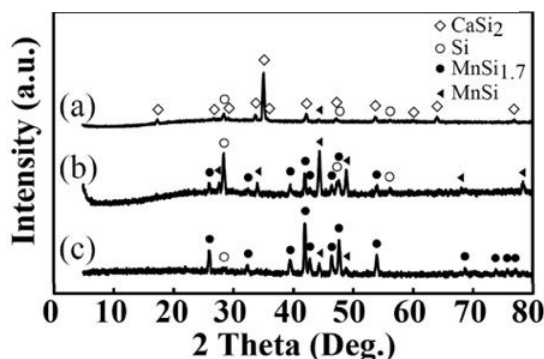


図 3. (a) 600°C , 0 時間, (b) 800°C , 0 時間, 及び (c) 800°C , 10 時間にてアニールされた粉末の XRD パターン.

$\text{Si}(111)$ 基板の上に作製した CaSi_2 マイクロウォールを $\text{MgCl}_2 / \text{Mg}$ 混合蒸気中にて 600°C , 2 時間アニールすることにより Mg_2Si ナノシート束が得られた(図 4)²⁾. ナノシートへの Mg 原子の添加により, ウォールの形はより丸い形状に変化した. これはウォール内への Mg 原子の拡散によるものである. 図ではウォール形状の塊のように見えるが, このウォールからシートが剥離されより薄いナノシートになる. CaSi_2 から Mg_2Si への構造変化では体積の増加になり, よって高温処理においてシートどうしが結合し見かけ上厚くなる. またナノシート束の内部におよそ $[311]$ 方向に 1nm の長周期構造が生成されていた(図 5). このナノシート束の PL スペクトルは 2.0 eV あたりにバルク Mg_2Si には見られない発光ピークが見られた²⁾.

このように $\text{MgCl}_2 / \text{Mg}$ 気相雰囲気下 (アニール温度 600°C) にて CaSi_2 粉末をアニールする事により Mg 金属をソースとして添加しない場合と比べて Mg 分布がより均一な粉末状の Mg_2Si ナノシート束を得た. 上記 600°C のアニールでは, Mg は気相中に蒸発しナノシートに供給されている. その際, 同時にナノシート束より Mg の再蒸発が起こる可能性がある. そこで参考文献 3 に示すようにアニール温度を Mg 金属の融点 650°C 以上にすることにより, ナノシート束を Mg 融液と反応させる事が出来る. なお, この温度は $\text{MgCl}_2\text{-CaCl}_2$ 混合塩の共晶点 (620°C) 以上でもある. この場合, Mg 融液と共存しているナノシート表面からの Mg の再蒸発を抑制する事ができ, 組成比の均一性, 結晶品質をさらに改善する事が出来た³⁾. MgCl_2 及び Mg をソースとして用い, Mg の融点及び $\text{MgCl}_2\text{-CaCl}_2$ 混合塩の共晶点以上の 680°C に保持した. 得られた粉末状の Mg_2Si 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°C にて 30 分のアニールを施す事によりペレットを作製した. そのナノシートの熱伝導率は 1.8 W/mK 、電気伝導度は $2 \times 10^4 \text{ S/m}$ 、ゼーベック係数は $-120 \mu\text{V/K}$ であった.

Mg₂Si 系ナノシート束の作製においては Mg に加え Al, Ga, In などの低融点金属溶媒を用いナノシート束を作製し,その微細構造を評価した.またそれらのナノシート束では 10¹⁷~10²⁰/cm³ の範囲でキャリア密度が変化した.

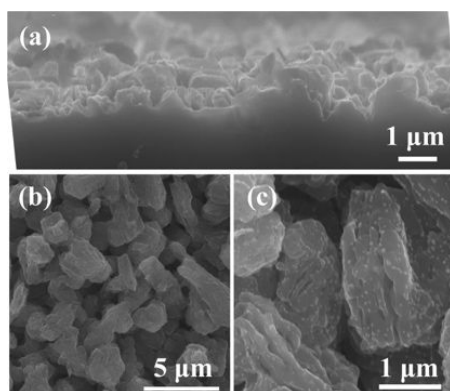


図 4. シリコン基板上的で作製したナノシート束の (a)断面, (b)平面, 及び(c)拡大平面 SEM 画像.

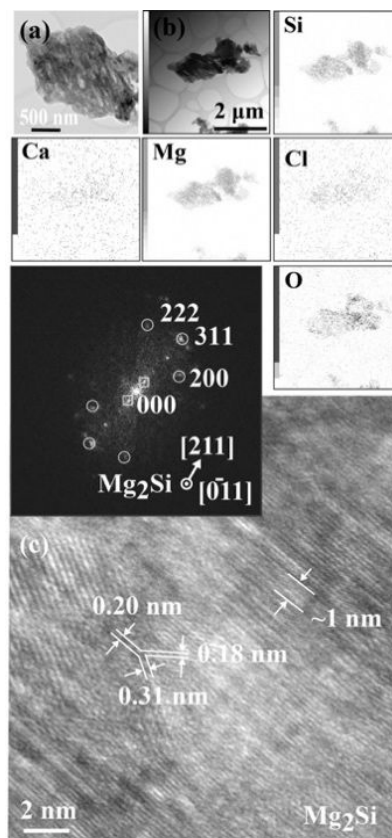


図 5. (a) 基板から削り取られたナノシートの(a)断面 TEM 画像, (b) STEM 画像および EDS マッピング, (c) ナノシートの一部の高分解能 TEM 像および対応する FFT パターン.

CaSi₂ を MgCl₂ および Sr あるいは Sr 化合物とともにアニールを施す事により Sr-Si 系ナノフレイク, 及び Ca 添加 Sr-Si 系ナノフレイクを作製した⁴⁾. Ar 雰囲気中にて石英管に CaSi₂ と乾燥雰囲気中に保存した MgCl₂ の混合粉末を Sr 金属とともに充填し, ステンレス製の反応容器に密閉した. 続いて 650 ~ 800 °C にて数時間保持した後, 室温まで自然冷却させた. ここで MgCl₂ は CaSi₂ より Ca を脱離させる為に用いた. また比較のため SrCl₂ 粉末, Si ナノシート束を用いてアニールを施したナノ構造体も作製した.

ソースとして CaSi₂, MgCl₂ 及び Sr を用いた場合, 複数の組成を有する Sr 系 シリサイド 化合物が得られた. 主成分が Si のナノプレート, 複数の組成を有する Sr-Si 系及び Sr-Ca-Si 系化合物からなるナノフレイクが得られた.

CaSi₂ を CrCl₃·xH₂O とともにアニールを施すことにより CrSi₂ ナノロッド/ナノシート束複合体を作製した⁵⁾. Ar 雰囲気中にて石英管に CaSi₂ 及び CrCl₃·6H₂O (モル比 2:1) 混合粉末を充填し, ステンレス製の反応容器に密閉した. 続いてアニール温度 450 ~ 700 °C にて 10 分保持した後, 室温まで自然冷却させた. 生成した粉末をイオン交換水中にて超音波洗浄, 続いてエタノールにて洗浄し過した後, 大気中にて自然乾燥させた. 生成したナノ構造体のモルフォロジーはアニール温度に依存した. アニール温度 450 °C においてはナノシート構造が観察されたものの CrSi₂ ナノ構造は生成されなかった. アニール温度 500 °C においては 粒子状の CrSi₂ の生成が顕著に観察された. またアニール温度 550 ~ 650 °C においてはシート表面に CrSi₂ ナノロッドの生成がみられた. さらにアニール温度 600 °C において見かけ上最も薄いナノシートが得られた. アニール温度 700 °C においてはランダムな方向に生成したナノロッドがシート束の周囲に観察された.

MgCl₂ を大気雰囲気化にてアニールを施す事により Mg(OH)₂ の生成を介し積層した MgO ナノフレイクを得た⁶⁾. 生成した MgO は概ね 100 nm から数百 nm の不定形の粒子であるが, その粒子はフレイク状の厚さ 10 nm 程度のシートからなる. この粉末から 5.2 eV 付近に半値幅の広いカソードルミネセンスがみられた. 紫外発光材料として期待できる. さらに MgO への Ca 及び Si 添加効果を調べたところ, 5.2 eV 付近の発光ピークのエネルギー値には殆ど変化はなく, 加えて 2~3 eV 付近に新たな発光ピークが現れた. この波長域の発光については, 励起波長 405 nm (3.06 eV) の励起光では 2.48 eV に, 532 nm (2.33 eV) の励起光では 2.05 eV にピークを有するフォトルミネセンスが観察された.

さらに多様な種類のナノシート束, ナノ構造の作製を試みた. CaSi₂ を大気雰囲気中にて

Fe/NaCl₂ 粉末とともにアニールを施すことによりナノシートの他、粒子状の鉄シリサイド、鉄シリサイドデンドライトが生成した⁷⁾。Mo 金属を大気雰囲気中あるいは減圧中にて熱処理を施すことにより1辺の長さがミリメートルからセンチメートルサイズの MoO_x ナノシートを得た。現状では数枚ではあるが束状となっている部分も観察された。また SiC を溶融塩にて熱処理を行う事によりナノシートが生成した。さらに詳しい評価と構造制御を試みる予定である。

以上のように本研究では、出発原料を様々な方法でアニールを施す事によりバラエティーに富んだ様々な化合物からなるナノシートの積層構造からなるナノシート束を作製し、さらにナノシート束のモルフォロジー、構造を造り分けるプロセスを示した。ナノシート束は、優れた低次元物性を有する大型バルク材料実現の為に、ナノ構造の応用の形態のひとつであり、エレクトロニクスのみならず、環境、医療など多方面への波及効果も大きい。また本研究で示した溶融塩を用いた液相中での粉末結晶成長法は新たなモルフォロジー、微細構造を有する粒子を得る新しい材料作製方法として期待できる。

参考文献

- 1) Fumio Komeda, Shogo Itoh, Yosuke Shimura, Naohisa Takahashi, and Hirokazu Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 62, SD1021-1-9 (2023).
- 2) Tomoya Koga, Ryo Tamaki, Xiang Meng, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Nazmul Ahsan, Yoshitaka, Okada, Akihiro Ishida, and Hirokazu Tatsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 60, SBBK07-1-6 (2021).
- 3) 古賀友也, 志村洋介, 高橋尚久, 立岡浩一: 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 23a-P04-4 (2021), 佐々木啓悟, 古賀友也, 志村洋介, 高橋尚久, 立岡浩一: 第 69 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 23a-F308-8 (2022).
- 4) 井上祐輔, 立岡浩一: 日本材料科学会 2023 年度学術講演大会, P39 (2023).
- 5) 緒河晟秀, 立岡浩一: 日本材料科学会 2023 年度学術講演大会, P40 (2023).
- 6) Shalika Parakatawella, Riko Yamamoto, Fumio Komeda, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura, Yoshitaka Okada, and Hirokazu Tatsuoka: ISCSI-IX, MP2-8 (2022).
- 7) Jilani Ansari, Fumio Komeda, Yosuke Shimura, and Hirokazu Tatsuoka, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 23a-C101-3 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Tomoya Koga, Ryo Tamaki, Xiang Meng, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Nazmul Ahsan, Yoshitaka Okada, Akihiro Ishida, and Hirokazu Tatsuoka	4. 巻 60
2. 論文標題 Fine structural and photoluminescence properties of Mg ₂ Si nanosheet bundles rooted on Si substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SBBK07-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abdf23	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 Fumio Komeda, Shogo Itoh, Yosuke Shimura, Naohisa Takahashi, and Hirokazu Tatsuoka	4. 巻 62
2. 論文標題 Synthesis of MnSi _{1.7} nanosheet bundles from CaSi ₂ crystal powders using MnCl ₂ in molten salt	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SD1021-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acaeb1	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25件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 井上祐輔, 立岡浩一
2. 発表標題 CaSi ₂ を用いたSr-Si系ナノ構造体の作製
3. 学会等名 日本材料科学会2023年度学術講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 緒河晟秀, 立岡浩一
2. 発表標題 CaSi ₂ をテンプレートとしたCrSi ₂ /Siナノ構造の作製
3. 学会等名 日本材料科学会2023年度学術講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 啓悟, 関野 海斗, 古賀 友也, 志村 洋介, 立岡 浩一
2. 発表標題 MgCl ₂ -Mg融液を用いて作製したMg ₂ Siナノシート及びMg ₂ Si _{1-x} Gexナノ構造体の微細構造
3. 学会等名 2023年 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shalika Parakatawella, Riko Yamamoto, Fumio Komeda, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura, Yoshitaka Okada, and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Mg ₂ SiO ₄ and MgO Composite Nanosheet Structures using the Template Method
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumio Komeda, Shogo Itoh, Yosuke Shimura, Naohisa Takahashi, and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of MnSi _{1.7} Nanosheet Bundles from CaSi ₂ crystal powders in MnCl ₂ molten salt
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 Jilani Ansari, Fumio Komeda, Yosuke Shimura, and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Fe-silicides from Fe and CaSi ₂ powders in NaCl molten salt
3. 学会等名 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	Shalika Parakatawella, Riko Yamamoto, Fumio Komeda, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura, Yoshitaka Okada, and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題	Synthesis of Mg ₂ SiO ₄ /MgO Nanostructures using CaSi ₂ as a Template and their Structural and Optical Properties
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	H. Tatsuoka, S. Ito, F. Komeda, and Y. Shimura
2. 発表標題	Synthesis of Si-based nanostructures from CaSi ₂ crystals using metal chloride powder, vapor and aqueous solution
3. 学会等名	Sixth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	米田 文緒、伊藤 聖悟、志村 洋介、立岡 浩一
2. 発表標題	MnCl ₂ 熔融塩を用いて作成したMnSi _{1.7} ナノシート束の微細構造
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	佐々木 啓悟、古賀 友也、志村 洋介、立岡 浩一
2. 発表標題	液相成長法を用いて作製したMg ₂ Siナノシート束の微細構造
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 関野 海斗、志村 洋介、立岡 浩一
2. 発表標題 CaGe ₂ 粉末の熱処理によるGe基ナノシート束の作製
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 立岡 浩一、志村 洋介、根尾 陽一郎、三村 秀典、岡田 至崇
2. 発表標題 CaSi ₂ をテンプレートとしたMg ₂ SiO ₄ /MgOナノシート束の作製と発光特性
3. 学会等名 第12回IDEA連携シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Riko Yamamoto, Yushin Numazawa, Yoichiro Neo, Yoshitaka Okada, Yosuke Shimura, Hidenori Mimura, Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Structural and Optical Properties of Mg-silicate Nanosheet Bundles Synthesized from CaSi ₂ Crystals
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関野海斗、志村洋介、立岡浩一
2. 発表標題 溶融MgCl ₂ -Mg溶媒を用いたMg ₂ Si- Mg ₂ Ge系固溶体ナノシート束の作製
3. 学会等名 第50回結晶成長国内会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 啓悟、古賀 友也、立岡 浩一、志村 洋介、高橋 尚久
2. 発表標題 熔融MgCl ₂ -Mg・低融点金属混合溶媒を用いたMg ₂ Siナノシート束の作製
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 古賀 友也、志村 洋介、高橋 尚久、立岡 浩一
2. 発表標題 熔融MgCl ₂ -Mg溶媒を用いたMg ₂ Siナノシート束の作製
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 米田 文緒、伊藤 聖悟、志村 洋介、高橋 尚久、立岡 浩一
2. 発表標題 MnCl ₂ 熔融塩を用いたMnSi _{1.7} ナノシート束の作製
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 関野 海斗、古賀 友也、志村 洋介、高橋 尚久、立岡 浩一
2. 発表標題 Mg ₂ Si-Mg ₂ Ge系固溶体ナノシート束の作製
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 Ye Li, Yalei Huang, Shogo Ito, Yosuke Shimura and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Synthesis of Fe ₃ Si/Si Composites from CaSi ₂ Crystal Powders
3. 学会等名 ISPIasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立岡浩一
2. 発表標題 熱反応堆積法によるシリサイド半導体の作製
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 Tomoya Koga, Ryo Tamaki, Xiang Meng, Yushin Numazawa, Yosuke Shimura, Nazmul Ahsan, Yoshitaka Okada, Akihiro Ishida and Hirokazu Tatsuoka
2. 発表標題 Fine Structural and Photoluminescence Properties of Mg ₂ Si Nanosheet Bundles
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Hiro Tatsuoka lab.
<https://wpp.shizuoka.ac.jp/tatsuoka/>
 静岡大学 大学院総合科学技術研究科 工学専攻 電子物質科学コース 立岡研究室ホームページ
<https://wpp.shizuoka.ac.jp/tatsuoka/>

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	志村 洋介 (Shimura Yosuke)		

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