

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420270

研究課題名(和文) 簡便な熱処理によるナノ構造の形態・形状制御と熱電発電への応用

研究課題名(英文) Morphological and structural control of nanostructures by simple thermal treatment and its application to thermoelectric power generation

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：Siナノワイヤの断面形状制御，ナノワイヤからナノシート(ナノベルト)への形状制御可能なプロセスを確立した．CrSi₂，MnSi_{1.7}及びMg₂Siのナノシート束を作製した．CaSi₂粉末又はSi基板に成長させたCaSi₂マイクロウォールより金属塩化物を用いCaを脱離させる事によりSiナノシート束を作製した．またIP6を用いてCaSi₂よりCaを脱離した．これらナノシート束においてフォトルミネッセンスの測定より量子閉じ込め効果が現れる事が示された．熱電デバイスへの応用を試みている．さらにテンプレートして他のII属金属シリサイドや他の酸性水溶液を用いCaを脱離しSi系ナノ構造を作製した．

研究成果の概要(英文)：New synthesis techniques have been developed for the formation of Si nanowires with various cross-sectional shapes, such as circle, triangle, squared and hexagonal. CrSi₂, MnSi_{1.7} and Mg₂Si nanowire bundles were also prepared. The Ca atom extraction from the CaSi₂ crystals was done using inositol hexakisphosphate (IP6) in an aqueous solution for the formation of Si nanosheet bundles. The Si-based nanosheet bundles were also synthesized by thermal treatment of CaSi₂ powders and CaSi₂ microwalls grown on Si substrates under metal chloride vapors. The quantum confinement effect by photoluminescence measurements was observed for the Si nanosheet bundles. Applications to thermoelectric devices have been also investigated. Other II group silicides and acid solutions were also used to form a variety of Si-based nanostructures.

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 ナノワイヤ ナノシート ナノ構造制御 熱電素子 自然エネルギー

1. 研究開始当初の背景

低次元物質では大型バルク結晶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。熱発電素子、太陽電池や熱光電池、または触媒作用を有する壁など、バルク結晶並みの大きな結晶、大面積を要するデバイスへのナノ構造の応用が重要である。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。さらに応用用途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。しかしこれまで単純な熱処理により作製されたナノワイヤの場合、基板上にアレイ状に成長したナノワイヤやランダムに成長したナノワイヤが得られ、これらはデバイス応用に用いるのは困難である。そこで本研究では、簡便な熱処理という簡便な作製プロセスを用いながらも、様々なナノ構造のモルフォロジー、形状を制御可能な作製プロセスを確立する必要がある。

2. 研究の目的

本研究ではシリコン及びシリサイド、シリコン系材料のナノワイヤ、ナノシート及びそれらのバンドル(束)構造の形態制御、形状制御技術を確立する。またナノワイヤ、ナノシートバンドルの造り分けを行う。ナノワイヤの断面形状(円形、三角、四角、六角)及びナノシートの造り分け、ナノワイヤの断面形状の制御を行う。円形から側面数の少ない三角形の作製を行う。これには本研究にて提案している Vapor-Liquid-Solid-Solid (VLSS) 法を採用する。

作製したナノ構造のモルフォロジー、微細構造を電子顕微鏡にて評価し、それぞれのナノ構造の得られる成長条件を確立する。続いて作製したナノ構造の光学特性、電気特性及び熱電特性の評価を行い量子閉じ込め効果を検証する。

3. 研究の方法

ソースとして $MnCl_2/Si$ 粉末を用いた化学気相成長法 (CVD) 法により Si ナノワイヤを作製した。ナノ構造制御法 VLSS (Vapor-Liquid-Solid-Solid) 法をより発展させ、断面形状を制御しナノワイヤを作製した。Si 基板を $CrCl_2$ 蒸気中にて熱処理をする事により $CrSi_2$ ナノワイヤバンドル(束)を作製した。Si 基板を $AgNO_3/HF$ 処理することにより Si ワイヤアレイを作製した。さらにその Si ワイヤアレイを Mg 蒸気下にて熱処理を行う事により Mg_2Si ワイヤ束を作製した。

金属を大気圧中または減圧中にて熱処理する事により Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 酸化物ナノワイヤ及びナノベルトを作製した。また Si ナノワイヤを形状変化させナノシートを生成した。さらに $CaSi_2$ 粉末又は Si 基板上に成長させた $CaSi_2$ マイクロウォールより金属塩化物を用いて Ca を脱離させる事により Si ナノ

シート束を作製した。また IP6 を用いて $CaSi_2$ より Ca を脱離した。さらにテンプレートして他の II 属金属シリサイドや他の酸性水溶液を用い Ca を脱離し Si 系ナノ構造を作製した。

4. 研究成果

$MnCl_2$ を用いた CVD 法により Si 及び Si 系ナノワイヤの断面形状の制御を行った。提唱しているナノ構造制御法 VLSS 法をより発展させ、円形、三角形、四角形及び六角形のナノワイヤを作製できるプロセスを確立した。図 1 にそれぞれの断面形状を有するワイヤの電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) 像を示す。

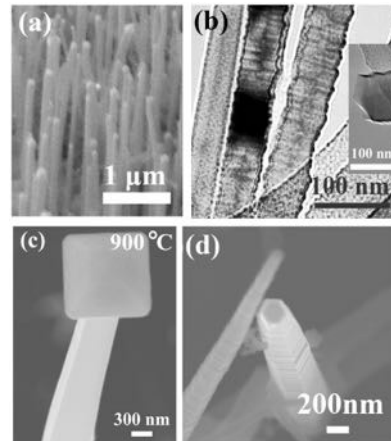


図 1 ワイヤ形状が (a) 円形, (b) 三角形, (c) 四角形, (d) 六角形の Si ワイヤの FE-SEM 像

Si 基板温度と $CrSi_2$ 蒸気圧 ($CrSi_2$ ソース温度) のバランスを考慮し、中間生成物である $SiCl_4$ 粒子の生成密度を制御しワイヤ密度を制御した。Si 基板の $AgNO_3/HF$ 処理による Si ワイヤアレイの作製においては、生成する Si ワイヤ長の成長条件依存性を調べる事により、より長く成長する条件を検討した。さらに繰り返しエッチング処理を行う事により数百ナノメートル長の Si ワイヤバンドル(束)を作製した。 $AgNO_3/HF$ 比、濃度、処理時間、溶液の容量を変化させ最も長い Si アレイが作製される条件を見出した。さらにそれを Mg 蒸気下にて熱処理を行う事により Mg_2Si ワイヤ束を作製した。図 2 にそれぞれのワイヤ束の FE-SEM 像を示す。この Mg_2Si ワイヤ束のホール効果による電気特性評価、ゼーベック効果測定を行うとともに勘弁な一極の熱電素子を試作した。

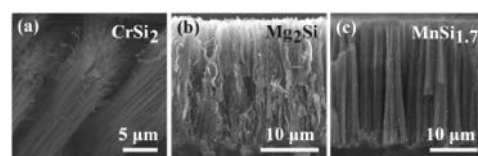


図 2 ワイヤ束構造の FE-SEM 像, (a) $CrSi_2$ ナノワイヤ束, (b) Mg_2Si ワイヤ束及び (c) $MnSi_{1.7}$ ワイヤ束。

Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃ 酸化ナノワイヤ (ナノロッド) 成長においては成長条件を検討する事によりナノベルトとなり二次元物質を作製する事ができた. しかしベルト幅を拓げる事が出来ず二次元物質としての特徴を出す事が困難であった. そこで金属酸化ナノシートのかわりに Si ナノワイヤよりナノシートに形状変化させた Si ナノシートを作製した. 作製したナノシートの構造を透過型電子顕微鏡で明らかにするとともに, ナノワイヤからナノシートへの形状変化が twin-plane reentrant-edge mechanism である事を明らかにした. ナノシートの集合体である Si ナノフラワーを作製しカソードルミネッセンス, フォトルミネッセンスにより評価した.

脱離剤として CrCl₂, FeCl₃, FeCl₂ や NH₄Cl 等の塩化物雰囲気中で熱処理を施す事により CaSi₂ より Ca を脱離した. Ca の脱離方法としてさらにフィチン酸, クエン酸及びリンゴ酸を用いた. 図 3 に生成したナノシート束の FE-SEM 像を示す. Si ナノシート束のラマンスペクトルはバルク Si のそれとは異なる特性を示し何らかの構造緩和が起こっている事が示された. Ca 原子の脱離の作用, 効率の違いによりフーリエ変換型赤外分光 (FTIR) スペクトルに違いが生じた. 処理方法により表面状態を改変できる事を示唆している. またフォトルミネッセンスの測定より量子閉じ込め効果が現れる事が示された. これより Si ナノシートはより薄い厚さ 1~2 nm 程度の Si 層からなる擬超格子構造を有する事が示唆された. またテンプレートとして用いるシリサイドとして CaSi₂ の他に Mg₂Si, SrSi₂, BaSi₂ を用い Si 系ナノシートを作製した. 異なる Si 骨格を有するシリサイドを用いる事により CaSi₂ の場合とは異なるモルフォロジーを有する Si 系ナノシート束を得た. またこの Si ナノシートに Mo を添加し h-MoSi₂ シート束も作製した. このように適切な成長環境とソース, テンプレートの選択により Si 系ナノワイヤ, ナノシートの結晶構造, 組成, モルフォロジーを制御する簡易な成長プロセスを構築した.

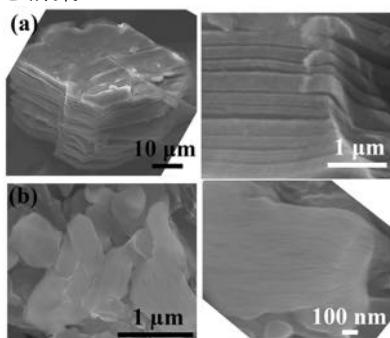


図 3 (a) CaSi₂ 粉末のフィチン酸水溶液処理により得られた Si ナノシート束, (b) Si 基板上に成長させた CaSi₂ マイクロウォールの FeCl₂ 蒸気雰囲気中の熱処理により得られた Si ナノシート束の FE-SEM 像.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

① P. Yuan, R. Tamaki, H. Suzuki, K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Saito, S. Kusazaki, Y. Kumazawa, X. Meng, N. Ahsan, Y. Okada and H. Tatsuoka, Synthesis of flower-like Si nanostructures on Si substrates, Jpn J. Appl. Phys., 査読有, 56(5S1), 05DE05 (2017),

DOI:10.7567/JJAP.56.05DE05

② X. Meng, K. Sasaki, K. Sano, P. Yuan, and H. Tatsuoka, Synthesis of crystalline Si-based nanosheets by extraction of Ca from CaSi₂ in inositol hexakisphosphate solution, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 56(5S1), 05DE02 (2017),

DOI:10.7567/JJAP.56.05DE02

③ X. Meng, A. Ueki, H. Tatsuoka, and H. Itahara, Ordered CaSi₂ microwall arrays on Si substrates induced by the Kirkendall effect, Chemistry - A European Journal, 査読有, 23(13), 3098-3106 (2017), DOI: 10.1002/chem.201605133

④ 熊澤 佑貴, 佐々木 謙太, 袁 佩玲, 孟 祥, 立岡 浩一, テンプレートとしてシリサイド粉末を用いた酸性溶液中での Si 系ナノシートからなる粉末の作製 (Syntheses of Powders Consisting Si-based Nanosheets Using Silicide Powders as Templates in Acid Solution), 粉体工学会誌, 査読有, 53(12), 797-803(2016), DOI: 10.4164/sptj.53.797

⑤ E. Meng, A. Ueki, X. Meng, H. Suzuki, H. Itahara, and H. Tatsuoka, Synthesis and structural property of Si nanosheets connected to Si nanowires using MnCl₂/Si powder source, Applied Surface Science, 査読有 378, 460 - 466 (2016), DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.03.103

⑥ X. Meng, H. Suzuki, K. Sasaki and H. Tatsuoka, Characteristic Modification of Catalysts by Use of a Chloride Source, Solid State Phenomena, Physics and Technology of Nanostructured Materials IV, 査読有, 247, 106-110 (2016), DOI:10.4028/www.scientific.net/SSP.247.106

⑦ 立岡浩一, 佐々木謙太, 熊澤祐貴, 孟祥, 袁佩玲, ナノ構造制御によるシリコン及びシリサイドナノシートの作製, 日本材料科学会誌 材料の科学と工学 <特集> 環境半導体材料の最新動向 (解説), 査読有, 53(3), 86-89 (2016), <http://www.mssj.gr.jp/J53.htm>

⑧ M. Omprakash, M. Arivanandhan, M. Sabarinathan, T. Koyama, Y. Momose, H.

Ikeda, H. Tatsuoka, D.K. Aswal, S. Bhattacharya, Y. Inatomi, Y. Hayakawa, Vertical gradient solution growth of N-type $\text{Si}_{0.73}\text{Ge}_{0.27}$ bulk crystals with homogeneous composition and its thermoelectric properties, *Journal of Crystal Growth*, 査読有, 442(15), 102-109 (2016),

DOI:10.1016/j.jcrysgr.2016.02.025

⑨ Q. Yang, X. Zhang, X. Zhou, H. Tatsuoka, H. Kominami, K. o Hara, and Y. Nakanishi, Observation of Point Contact Visible Luminescence from Ga-Doped ZnO Layers, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 査読有, 13, 201-203 (2015), DOI: 10.1380/ejssnt.2015.201

⑩ H. Tatsuoka, H. Suzuki, T. Suzuki, W. Li, J. Hu, X. Meng, and E. Meng, Synthesis and structural control of silicon and silicide nanowires/microrods using metal chloride sources, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 54, 07JD02-1-8(2015), DOI: 10.7567/JJAP.54.07JD02

⑪ M. Omprakash, M. Arivanandhan, T. Koyama, Y. Momose, H. Ikeda, H. Tatsuoka, D. Aswal, S. Bhattacharya, Y. Okano, T. Ozawa, Y. Inatomi, S. Moorthy Babu, Y. Hayakawa, High power factor of Ga-doped compositionally homogeneous $\text{Si}_{0.68}\text{Ge}_{0.32}$ bulk crystal grown by the vertical temperature gradient freezing method, *Crystal Growth & Design*, 査読有 15 (3), pp 1380 - 1388 (2015), DOI: 10.1021/cg501776h

⑫ Q. YANG, X. ZHOU, T. NUKUI, Y. SAEKI, S. IZUMI, A. TACKEUCHI, H. TATSUOKA, and S. LIANG, Ultraviolet-emitting ZnO thick layer grown by thermal oxidation with gallium, *SCIENCE CHINA, Technological Science*, 査読有 57(12), 2500-2503 (2014), DOI: 10.1007/s11431-014-5714-y

⑬ Q. Yang, H. Tatsuoka, M. Tanaka, The (011) Twin Structure Periodical in Monoclinic ZrO_2 Nanofiber, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 査読有, 12, 418-419 (2014), DOI: 10.1380/ejssnt.2014.418

⑭ P. Yuan, M. Wei, Z. Fu, G. Shao, H. Tatsuoka, J. Hu, Reactive vapor deposition and electrochemical performance of nano-structured magnesium silicide on silicon and silicon carbide substrates, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 査読有, 27, 873-876(2014), DOI: 10.1016/j.mssp.2014.09.003

⑮ X. MENG, H. IMAGAWA, E. MENG, H. SUZUKI, Y. SHIRAHASHI, K. NAKANE, H. ITAHARA and H. TATSUOKA, Formation of Si-based nanosheets by extraction of Ca from CaSi_2 layers on Si substrates, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有, 122 (8), 618-621 (2014),

DOI: 10.2109/jcersj2.122.618

⑯ W. Li, D. e Ishikawa, J. Hu and H. Tatsuoka, Growth of $\text{MnSi}_{1.7}$ layers on MnSi substrate by molten salt method, *Journal of Electronic Materials* 査読有 43(6), 1487-1491(2014),

DOI:10.1007/s11664-013-2744-3

⑰ Q. Yang, X. Zhou, T. Nukui, Y. Saeki, S. Izumi, A. Tackeuchi, H. Tatsuoka and Shuhua Liang, Time-resolved ultraviolet photoluminescence of ZnO/ ZnGa_2O_4 composite layer, *AIP ADVANCES*, 査読有, 4(2), 027101-5 (2014) DOI: 10.1063/1.4864750

[学会発表] (計47件)

① P. Yuan, K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Kumazawa, K. Hikichi and H. Tatsuoka, STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SI-BASED NANOWIRE AND NANOSHEET BUNDLES, (Invited), NANOMEETING-2017, 2017, 5,30, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.

② P. Yuan, Y. Saito, S. Kusazaki, Y. Kumazawa, N. Atsumi, H. Tatsuoka, Evolutionary Shape Modification of Semiconductor Nanostructures, (Invited), International Conference on Energy Materials and Nanotechnology (ICEM3-2017), 2017, 4, 14, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan, China.

③ P. Yuan, R. Tamaki, K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Saito, S. Kusazaki, Y. Kumazawa, X. Meng, N. Ahsan, Y. Okada H. Tatsuoka, Photoluminescence Property of Si-based nanosheet bundles rooted on Si substrates, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2017, 3, 16, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市).

④ P. Yuan, K. Sasaki, Y. Kumazawa, Y. Saito, S. Kusazaki, K. Hikichi, N. Atsumi, H. Tatsuoka, Surface Characterization of Si-Based Nanosheets Synthesized from CaSi_2 Using Metal Chlorides, IP6 and Acid Solutions, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第22回研究会), 2017, 1, 20, 東レ研修センター(静岡県三島市).

⑤ H. Tatsuoka, K. Sasaki, M. Nakayama, Y. Kumazawa, X. Meng, P. Yuan, Synthesis and Structural Control of Si-Based Nanowire and Nanosheet Bundles, International Conference on Materials Processing and Applications, (Invited), 2016, 12, 14, VIT University, Vellore, India.

⑥ X. Meng, K. Sasaki, Y. Kumazawa, P. Yuan, H. Tatsuoka, Synthesis of Si Nanosheet Bundles by Extraction of Ca Atoms from CaSi_2 Powders by Inositol Hexakisphosphate Solution, 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials

- (SSDM2016) 2016, 9, 28, Tsukuba International congress center (Tsukuba, Ibaraki)
- ⑦ P. Yuan, K. Sasaki, Y. Kumazawa, X. Meng, H. Tatsuoka, Syntheses of Si-based Nanostructures by Extraction of Metallic Atoms from Silicides in Solution, (招待講演), 第28回シリサイド系半導体研究会, 2016, 9, 16, 新潟駅前カルチャーセンター (新潟県新潟市).
- ⑧ 高須 隆太郎, Omprakash Muthusamy, Misra Shantanu, 志村 洋介, 早川 泰弘, 立岡 浩一, 熱電応用のための $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 及び $\text{Mg}_2\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 結晶合成と特性評価, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 2016, 9, 14, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市).
- ⑨ X. Meng, K. Tsukamoto, K. Sasaki, H. Tatsuoka, Two-dimensional, Si-based nanostructures synthesized from CaSi_2 on Si substrates under chlorides vapor, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE18), 2016, 8, 11, Nagoya Congress Center (Nagoya, Aichi).
- ⑩ X. Meng, K. Sasaki, K. i Sano, P. Yuan, H. Tatsuoka, Synthesis of Crystalline Si-based Nanosheets by Extraction of Ca atoms from CaSi_2 in Inositol Hexakisphosphate (IP6) Solution, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Electronics (APAC Silicide 2016), 2016, 7, 16, Nishijin Plaza, Kyushu University (Fukuoka, Fukuoka).
- ⑪ Y. Kumazawa, K. Sasaki, P. Yuan, X. Meng, M. Shimomura, H. Tatsuoka, Synthesis of Si-Based Nanosheets by Extraction of Ca Atoms from CaSi_2 by Chelating Agents, 7th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII), 2016, 6, 8, Noyori Conference Hall, Nagoya University (Nagoya, Aichi).
- ⑫ 立岡 浩一, 佐々木 謙太, 熊澤 佑貴, 孟 祥, 袁 佩玲, CaSi_2 粉末のキレート剤処理による Si 系ナノシートの作製, 粉体工学会 2016 年度春期研究発表会, 2016, 5, 18, 京都リサーチパーク (京都府京都市).
- ⑬ 中山 誠, 鈴木 崇倫, 立岡 浩一, AgNO_3/HF 溶液の繰り返し処理によるシリコンワイヤの作製, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016, 3, 20, 東工大岡山キャンパス (東京都目黒区).
- ⑭ X. MENG, A. UEKI, H. ITAHARA and H. TATSUOKA, Morphological Modification of Ca-Silicide Films Formed by Interdiffusion, 32nd International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2015.11.19, Hotel New Otani Nagaoka, (Nagaoka, Niigata)
- ⑮ 立岡浩一, 佐々木謙太, 鈴木博明, 孟 祥, シリサイドの IP6 処理によるナノ構造の作製, 日本材料学会「材料シンポジウム」ワークショップ, 2015, 10, 13, 京都テルサ (京都府京都市)
- ⑯ H. Suzuki, X. Meng, H. Tatsuoka, Synthesis of triangular Si nanowires using catalytic particles consisting of Si, Mn and Cl, 14th International Conference on Global Research and Education INTER-ACADEMIA 2015, 2015, 9, 29, Hamamatsu ACT CITY, (Hamamatsu, Shizuoka).
- ⑰ K. Sasaki, K. Sano, X. Meng, H. Suzuki, T. Kobayashi, T. Kuno and H. Tatsuoka, Synthesis of Si-based Nanostructures by Extraction of Metallic Atoms from Silicides by Inositol Hexakisphosphate, 2015 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2015), 2015, 9, 29, Sapporo Convention Center (Sapporo, Hokkaido).
- ⑱ 佐々木 謙太, 佐野 晃希, 孟 祥, 鈴木 博明, 立岡 浩一, シリサイドをテンプレートとした IP6 処理によるシリコン系ナノ構造物の作製, 2015 年秋季第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015, 9, 15, 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市).
- ⑲ X. Meng, H. Suzuki, H. Tatsuoka, Structural control of Si based nano-structures by catalyst design, (Plenary session, Invited), Third Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (ASCO-NANOMAT 2015), 2015, 8, 22, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.
- 36) X. Meng, A. Ueki, H. IMAGAWA, H. ITAHARA, H. Tatsuoka, Growth of CaSi_2 layers on Si substrates induced by Kirkendall void formation, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015, 3, 12, 東海大学湘南キャンパス (神奈川県平塚市).
- ⑳ T. Suzuki, T. Ito, Y. Shirahashi, H. Suzuki, K. Sano, X. Meng, H. Tatsuoka, Simple syntheses of morphologically controlled nanowires, Inter-Academia Asia, 2014, Young Researcher's Symposium, 2014, 12, 2, Hotel Associa Shizuoka, (Shizuoka, Shizuoka).
- ㉑ 立岡浩一, 鈴木博明, 孟 祥, MnCl_2/Si をソースとした Si 系ナノ構造の作製, 第58回日本学術会議材料工学連合講演会, 2014, 10, 27, 京都テルサ (京都府京都市).
- ㉒ E. Meng, X. Meng, H. Suzuki and H. Tatsuoka, Shape controlled growth of Si nanowires using MnCl_2 and Si powder source and Au catalyst, International conference and summer school on advanced silicide technology 2014 (ICSS-Silicide 2014), 2014, 7, 19, Tokyo University of Science, Katsushika Campus, (Katsushika, Tokyo).

②③ H. Tatsuoka, X. Meng, H. Suzuki and E. Meng, Shape modification of semiconductor and metal nano-structures by simple thermal treatment, (Invited), The 2014 International Symposium on Energy Materials and Nanotechnology (ISEMN 2014), 2014, 4, 20, Hubei University, (Wuhan, China)

〔図書〕(計1件)

前田佳均編著, 立岡浩一他, シリサイド系半導体の科学と技術ー 資源・環境時代のあたらしい半導体と関連物質, 裳華房, 2014, 9, 25, p. 47-57.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~tehtats/>

① 立岡浩一, 佐々木謙太, 中山誠, 引地啓太, 熊澤佑貴, 孟祥, 袁佩玲, Si系ナノシート束からなる粉末の作製, 工業材料 『高機能セラミックスと粉体技術の最新潮流をさぐる』, 64(12), 51-55(2016), 日刊工業新聞社

② 立岡浩一, 佐々木謙太, 中山誠, 引地啓太, 熊澤佑貴, 孟祥, 袁佩玲, Si系ナノワイヤおよびナノシートの形状制御, ケミカルエンジニアリング特集/新規なナノシート研究と応用, 61(11), 827-831(2016), 化学工業社 月刊「ケミカルエンジニアリング」61刊11号

6. 研究組織

(1) 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

(3) 連携研究者

早川 邦夫 (Hayakawa, Kunio)
静岡大学・工学部・教授
研究者番号: 80283399

早川 泰弘 (Hayakawa, Yasuhiro)
静岡大学・電子工学研究所・教授
研究者番号: 00115453

池田 浩也 (Ikeda, Hiroya)
静岡大学・工学部・准教授
研究者番号: 00262882