

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18560303  
 研究課題名（和文） 新しいシリサイド半導体の結晶成長とエネルギーデバイスへの応用  
 研究課題名（英文） Growth of new semiconducting silicides 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

## 研究成果の概要：

本研究はシリサイド系半導体の総合的な研究であり、結晶成長、物性評価からデバイス応用への応用まで広い範囲をカバーしている。資源豊富で安全である材料を用い、太陽電池や熱光電池、熱電発電素子など環境保全に寄与するデバイスの開発を行った。得られた結果を総合的にまとめ、ファミリーとしてみたシリサイド半導体の光電デバイス、熱電デバイスへの可能性について纏めた。この研究テーマの最終的目標である資源豊富で安全な材料による半導体発電素子の開発が、将来のエネルギーフローを変える事を期待する。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	450,000	3,950,000

研究分野：環境考慮型機能性材料の開発とナノ構造制御

科研費の分科・細目：(分科) 電気電子工学 (細目) 電子・電気材料工学電子

キーワード：キーワード

- |            |            |               |
|------------|------------|---------------|
| (1) シリサイド  | (2) 熱電発電素子 | (3) 熱光起電力システム |
| (4) エピタキシー | (5) 熔融塩法   | (6) 相互拡散      |
| (7) エネルギー  | (8) 環境     |               |

## 1. 研究開始当初の背景

地球環境と調和した持続可能な社会の構築という課題のもと、半導体関連分野においても、太陽電池や熱光電池、熱電発電素子の開発、資源豊富で毒性が少ない新しい半導体材料の開発が進められている。そのひとつのアプローチとして新しい半導体材料「シリサ

イド半導体」が提唱され、赤外領域における光電変換デバイス、熱電素子、フォトクリスタル、スピニエレクトロニクスへの応用が試みられている。現在その中心的研究グループは当研究代表者が前委員長を務めた「応用物理学会 シリサイド半導体と関連物質研究会」である。本研究会では今や世界をリード

する研究成果をあげその活動の中心となっている。

## 2. 研究の目的

最近の材料開発の場において、材料の持つ機能的な性能・効率だけでなく資源豊富である事や生体に安全である事が、以前にも増して注目されるようになってきた。エコマテリアルという概念が提唱され、地球環境と調和した持続可能な社会の構築という課題のもと、環境負荷の小さい材料が代替材料として使用される傾向にある。半導体関連分野においても、太陽電池や熱光電池、熱電発電素子など環境保全に寄与するデバイスの開発、エネルギー消費が少なく環境負荷の小さいプロセスの開発に加えて、資源豊富で毒性が少ない新しい半導体材料の開発が進められている。本研究では、このシリサイド半導体群を新しい半導体ファミリーとしてとらえ、半導体ファミリーの全様解明のため、半導体ファミリー全体にわたり、各種薄膜の成長と評価、及びそれら半導体の熱電素子、赤外領域における光電変換素子への応用に関する研究を行った。

## 3. 研究の方法

本研究はシリサイド系半導体の総合的な研究であり、結晶成長、物性評価からデバイス応用への応用まで広い範囲をカバーする。目的にあげたそれぞれの研究計画・方法は次のとおりである。

1. アルカリ土類金属シリサイド半導体の成長と物性評価を行う。独自の  $Mg_2Si$ 、 $Ca_2Si$  及び  $Sr_2Si$  薄膜成長法により、これら薄膜を成長させ光学的特性を評価する。これらの薄膜の電気的・光学的特性の評価よりキャリア密度、移動度の温度依存性を明らかにする。

2. 安価・簡便な薄膜製造プロセスの確立を目的として安価基板上へのシリサイド薄膜成長と真空フリー薄膜成長技術の開発を行う。溶融塩法により  $b-FeSi_2$  薄膜を成長させ、薄膜の構造、電気的・光学的特性を評価する。

一方、ガラス基板上に  $b-FeSi_2$  薄膜を成長させ薄膜の構造を、X線回折実験、電子顕微鏡観察により明らかにする。基板の種類として石英ガラス、ソーダガラス、コーニング 7059 等を使い、使用するガラス基板の種類によって成長する薄膜の構造、電気的、光学的特性がどのように異なるか調べる。同薄膜を SIMOX 基板上にも成長させガラス基板上に成長させた場合の薄膜の構造と比較する。

3. 熱電変換デバイスへの応用を目的として  $b-FeSi_2$  結晶の成長を行う。成長させた  $b-FeSi_2$  結晶の構造を電子顕微鏡観察により評価する。

4. 熱電素子への応用を目的とした  $Mg_2Si$  を基調としたシリサイド材料の開発を行う。

Mg 雰囲気中での熱処理による結晶成長方法を用いて  $Mg_2Si$  粉末、 $Mg_2Ge$  粉末及びそれらの混晶を成長させる。成長した粉末をプレスシタレットに整形する。さらに透過型電子顕微鏡により微細構造を評価する。またタレットのゼーベック係数、比抵抗を測定する。次に新しい p 形電極材料として、 $Ca_5Si_3$ 、 $Sr_5Si_3$  をとりあげる。本実験では Ca や Sr の周囲雰囲気を変化させることにより Ca/Si、Sr/Si の比を制御する。得られた  $Ca_5Si_3$ 、 $Sr_5Si_3$  結晶の導電率の温度依存性、ゼーベック効果の温度依存性を調べる。

5. 熱光電池への応用を目的として  $MnSi_1.7$  薄膜を成長させる。一方、 $SiGe$  混晶基板を用い Mg 雰囲気中で熱処理する事により  $Mg_2SiGe/SiGe$  ヘテロ構造を作製する。

最後に以上の結果を総合的にまとめ、ファミリーとしてみたシリサイド半導体の光電デバイス、熱電デバイスへの可能性について纏める。この研究テーマの最終的目標である、資源豊富で安全な材料による半導体発電素子の開発が、将来のエネルギーフローを変え、また次世代の環境学習に役立てるよう纏める。

## 4. 研究成果

本研究はシリサイド系半導体の総合的な研究であり、結晶成長、物性評価からデバイス応用への応用まで広い範囲をカバーしている。研究成果については次にあげるとおりである。

資源豊富で安全である材料を用い、太陽電池や熱光電池、熱電発電素子など環境保全に寄与するデバイスの開発を行った。またこれらデバイス開発にはエネルギー消費が少なく環境負荷の小さいプロセスにより行った。そのひとつのアプローチとして新しい半導体材料として「シリサイド半導体」ファミリーの開発が重要であった。

(1)  $Mg_2Si$ 、 $Ca_2Si$ 、 $Sr_2Si$  薄膜を成長させ光学的特性を評価した。バンドギャップ、反射率の波長依存性を明らかにした。また薄膜の構造を X 線回折実験、電子顕微鏡観察により明らかにした。

(2) 溶融塩法により  $\beta-FeSi_2$  薄膜を成長させ、薄膜の構造、電気的・光学的特性を評価した。電気的・光学的特性の評価よりキャリア密度、移動度の温度依存性を明らかにした。大型  $\beta-FeSi_2$  基板の作製プロセスを開発し、概ね  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$  に近い角形  $\beta-FeSi_2$  基板を作製した。またこの半導体基板は p 形であり低温でのキャリア密度は  $10^{16}/\text{cm}^3$  程度であった。さらに作製した  $\beta-FeSi_2$  結晶の構造を詳細に調べ  $\beta-FeSi_2$  ドメインの構造と分布、結晶方位、欠陥の種類と分布を明らかにした。また、溶融塩法により得られた  $b-FeSi_2$  を用いて  $b-FeSi_2/Mg_2Si$  熱電発電素子及び

b-FeSi<sub>2</sub>/FeSi 熱電発電素子の構造を改良し中温領域において使用可能な素子を試作した。原料である FeSi に適当な不純物を添加する事により β-FeSi<sub>2</sub> 電気伝導特性の制御を試み、n 型 b-FeSi<sub>2</sub> を実現した。

一方、ガラス基板上に β-FeSi<sub>2</sub> 薄膜を成長させ薄膜の構造を、X 線回折実験、電子顕微鏡観察により明らかにする。電子顕微鏡による断面観察により β-FeSi<sub>2</sub>/Si/SiO<sub>2</sub> 界面の構造を評価しその平坦性、均一性を評価した。(3) Fe 或いは Mn を含む金属塩化物を用い Si 基板上に Fe シリサイド薄膜、MnSi<sub>1.7</sub> 薄膜を成長させその構造を X 線回折法、電子顕微鏡観察により評価した。次にこのヘテロ構造を通る電流の I-V 特性を測定した。MnCl<sub>2</sub> を用いてマンガンシリサイド層を Si(111)上に成長させた。500℃の熱処理温度が Mn<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>(y/x ~ 2)を成長させるために最も適切な成長条件を与えた。同温度においてエピタキシャル層は連続となり Si(111)基板表面を覆った。この結果は簡便な成長方法により Si 基板上に広範囲に Mn<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>(y/x ~ 2)層を成長できる事を示した。

一方、ガラス基板上に b-FeSi<sub>2</sub> 薄膜を成長させ薄膜の構造を、X 線回折実験、電子顕微鏡観察により明らかにした。電子顕微鏡による断面観察により b-FeSi<sub>2</sub>/Si/SiO<sub>2</sub> 界面の構造を評価しその平坦性、均一性を評価した。評価結果を成長条件にフィードバックさせ両材料の薄膜成長技術を確立する。成長させるガラスの種類を変化させ、石英ガラス、ソーダガラス、コーニング 7059 等を使い、薄膜特性の使用するガラス基板依存性を調べた。

(4) 熱電素子への応用を目的とした Mg<sub>2</sub>Si を基調としたシリサイド材料の開発を行った。n 形電極用半導体としてバルク Si 及び SiGe 混晶を Mg 雰囲気中で熱処理する事により得られた Mg<sub>2</sub>Si<sub>1-x</sub>Gex 膜の構造を明らかにした。Mg<sub>2</sub>Si 粉末、Mg<sub>2</sub>Ge 粉末及びそれらの混晶を成長させた。また予め Si-Ge 混晶を作製し、それを Mg 雰囲気中で熱処理する事により Mg<sub>2</sub>SiGe 混晶薄膜を作製した。薄膜の Si/Ge 比及び Mg 処理条件を変化させて成長し、成長した粉末により作製したタブレットの室温付近での伝導タイプを調べた。さらにゼーベック係数、比抵抗を測定した。p 形電極用半導体として Ca<sub>2</sub>Si 粉末及びバルク結晶及びゲルマニウム化合物バルク結晶又は粉末を作製した。新しい p 形電極材料として、ここまでのシリサイドとは組成が異なる Ca<sub>2</sub>Si, Ca<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Sr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> を作製し、導電率の温度依存性、ゼーベック効果の温度依存性を調べた。さらに、これらのシリサイドを用いて pn 対を作製し、熱電変換システムへの応用を試みた。

Mg<sub>2</sub>Si/Si 基板上に成長させた Sr<sub>2</sub>Si 薄膜

の構造を明らかにした。また単相成長させた Ca<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Sr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> 粉末結晶の伝導現象を評価した。これらの結晶は p 形である事が分かった。また、Mg<sub>2</sub>Si 粉末を Ca 雰囲気中で熱処理する事により Ca<sub>2</sub>Si 粉末を生成した。これらの焼結体をつくる事により熱電素子を作製した。

さらにメカニカルアロイング法により Ca シリサイド粉末を作製し、電気的熱電特性を評価した。Ca-Ge 化合物及び、Ca-Si 化合物結晶をメカニカルアロイング法により作製した。生成した粉末は Ca<sub>2</sub>Si, Ca<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> 相とともに新たなキュービック相を含んでいた。Ca 及び Ge を用いて生成した粉末はキュービック相のみが生成した。これらの粉末から焼結した Ca をベースとした化合物のペレットは p 型を示し、Mg<sub>2</sub>Si の対になる熱電材料として期待できる。

(5) MnSi<sub>1.7</sub>/Mg<sub>2</sub>Si を作製しその構造を電子顕微鏡により MnSi<sub>1.7</sub>/Mg<sub>2</sub>Si 界面の構造を評価した。次にこのヘテロ構造を通る電流の I-V 特性を測定した。また比較的大きなバンドギャップを持つ新しいシリサイド半導体材料として注目されているナトリウムシリサイド成長させ Si 基板上への Na-Si 系化合物生成の可能性について調べた。Si を Na とともに熱処理する事により Na-Si 化合物を作製した。

以上の結果を総合的にまとめ、ファミリーとしてみたシリサイド半導体の光電デバイス、熱電デバイスへの可能性について纏めた。また研究過程で得られた結晶成長方法を新材料の開発設計に役立てられるよう総合的にまとめた。この研究テーマの最終的目標である資源豊富で安全な材料による半導体発電素子の開発が、将来のエネルギーフローを変え、また次世代の環境学習に役立てられる事を期待する。

#### 【今後の展開】

シリサイド半導体を材料科学の立場から新しい半導体ファミリーとして位置づけ系統的な物性解明を行うとともに、シリサイド半導体を利用した熱電発電素子、太陽電池、赤外線吸収タイプの光電変換素子の開発、及びシリサイドを用いたナノファイバーの作製と応用に関する研究を行っていく。また Si マイクロ技術やナノファイバー成長技術と融合したマイクロ・ナノ熱電素子の開発を目指したい。シリサイド磁性材料を含めた半導体・磁性体ハイブリッドデバイスに関する研究、さらに電気電子工学分野への応用だけでなく、構造材料として、或いは医学との連携を視野に入れた学際領域での研究も行っていきたい。

#### 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 13 件)

- 1) Hu Junhua, T. Kurokawa, T. Suemasu, S. Takahara, M. Itakura and H. Tatsuoka, Growth of manganese silicide layers on Si substrates using  $MnCl_2$  source, *physica status solidi (a)* 206(2), 233-237(2009).
- 2) Y. Warashina, Y. Ito, T. Nakamura, H. Tatsuoka, J. Snyder, M. Tanaka, T. Suemasu, Y. Anma, M. Shimomura, Y. Hayakawa, Growth of Ca-Germanide and Ca-Silicide Crystals, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* 7, 129-133(2009).
- 3) M. Asato, M. Ohkubo, T. Hoshino, F. Nakamura, N. Fujima and H. Tatsuoka, Full-Potential Screened KKR Calculations for Magnetism of  $Co_2MnSi$ ,  $Ni_2MnAl$  and  $Ru_2MnSi$ , Based on the Generalized Gradient Approximation, *Mater. Trans.* 49, 1760-1767, (2008).
- 4) T. Ohishi, A. Mishina, I. Yamauchi, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Structural Property of  $b-FeSi_2$  Layers Deposited on FeSi from a Molten Salt, *Thin Solid Films* 515(22), 8201-8204(2007).
- 5) T. Inaba, A. Kato, K. Miura, M. Akasaka, T. Iida, Y. Momose and H. Tatsuoka, Preparation and Electrical Properties of  $Ca_5Si_3$  and  $Sr_5Si_3$  Powders, *Thin Solid Films* 515(22), 8226-8229 (2007)
- 6) M. Okubo, T. Ohishi, A. Mishina, Yamauchi, H. Uono, T. Suemasu, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Preparation of  $\beta-FeSi_2$  Substrates by Molten Salt Method, *Thin Solid Films* 515 (22), 8268-8271(2007)
- 7) T. Inaba, Y. Saito, H. Kominami, Y. Nakanishi, K. Murakami, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Growth of  $SiO_x$  Nanofibers Using FeSi Substrates with Ga Droplets, *Jpn. J. Appl. Phys.* 45(49), L1320-L1321 (2006)
- 8) K. Durose and H. Tatsuoka, Resistive contrast in R-EBIC from thin films, *Microscopy of Semiconducting Materials (Springer Proceedings in Physics)*, 107, 515-518(2006).
- 9) K. Miura, T. Ohishi, T. Inaba, Y. Mizuyoshi, N. Takagi, T. Matsuyama, Y. Momose, T. Koyama, Y. Hayakawa and H. Tatsuoka, Growth Evolution of Sr-Silicide Layers on Si(111) and  $Mg_2Si/Si(111)$  Substrates, *Thin Solid Films*, 508, 74-77 (2006) .
- 10) Y. Mizuyoshi, R. Yamada, T. Ohishi, Y. Hayakawa, T. Koyama, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Growth of  $Mg_2Si_{1-x}Ge_x$  Layers on Silicon-Germanium Substrates, *Thin Solid Films* 508, 70-73 (2006) .

11) 立岡浩一、末益崇、分科会・研究会だより シリサイド系半導体 と関連物質研究会、*応用物理* 75(5), 615(2006)

12) 立岡浩一、会議速報 APAC-SILICIDE2006 会議報告 ―シリサイド半導体に関するアジア太平洋会議報告―、*電子材料* 75(11), 91-91(2006)

13) 立岡浩一、寺井慶和、ナノインフォ シリサイド半導体に関するアジア太平洋国際会議、*Japan Nanonet Bulletin* 65(5), 3-4(2006)

[学会発表] (計 27 件)

- 1) Si 基板上への Na-Si 系化合物の生成、伊藤佳史、藁科芳史、立岡浩一、第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009.4.2、筑波大学
- 2)  $Mg_2Si$  粉末より作製した Ca シリサイドの熱電特性 温 翠蓮、藁科芳史、立岡浩一、第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009.4.22、筑波大学
- 3) Syntheses And Thermoelectric Properties Of Ca-Germanide And Ca-Silicide Powders By Mechanical Alloying Y. Warashina, Y. Ito, J. Snyder, K. Isobe, T. Suemasu, Y. Hayakawa, T. Nakamura, H. Tatsuoka, The IUMRS International Conference in Asia 2008, 2008.12.10, Nagoya
- 4) Growth of Ca-Germanide and Ca-Silicide Crystals by Mechanical Alloying、Y. Warashina, Y. Ito, T. Nakamura, H. Tatsuoka, J. Snyder, M. Tanaka, T. Suemasu, Y. Anma, M. Shimomura, Y. Hayakawa, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology, 10p-p-37 (Abs# 1113)2008.11.10, Tokyo
- 5) 熱反応堆積法によるシリサイド系半導体材料の成長、立岡浩一、第 69 回応用物理学学会学術講演会、結晶工学分科会・シリサイド系半導体と関連物質研究会共同企画「シリサイド系材料が開く新しい応用技術-結晶工学から斬るシリサイド系材料の可能性-」、2008.9.4、中部大学
- 6) Semiconducting Silicides、立岡浩一、第 11 回シリサイド系半導体夏の学校 ナイトセッション「夢を語ってみる、シリサイド半導体デバイスと 21 世紀」、2008.8.2、倉敷市
- 7) メカニカルアロイング(MA)法による Ca 系シリサイド、Ca 系ジャーマナイドの生成及び電気特性評価 伊藤佳史、藁科芳史、立岡浩一、第 11 回シリサイド系半導体夏の学校、2008.8.2、倉敷市
- 8)  $Mg_2Si$  粉末を用いた単相  $Ca_2Si$  粉末の作製と評価 藁科芳史、小林敬祥、百瀬与志美、立岡浩一、第 55 回応用物理学関係連合講演会、2008.3.29、日本大学理工学部
- 9)  $MnCl_2$  ソースを用いて成長したマンガンシ

リサイド薄膜の構造、Junhua Hu, 黒川貴規, 高原省吾, 板倉 賢, 末益 崇, 立岡浩一, 第 55 回応用物理学関係連合講演会、2008.3.29、日本大学理工学部

10) M2Si (M=Mg, Ca, Sr) 結晶の成長と光学特性、Junhua Hu, 加藤彰彦, 佐道泰造, 前田佳均, K.N. Galkin, T.V. Turchin, N.G. Galkin, 立岡浩一 第 55 回応用物理学関係連合講演会、2008.3.29、日本大学理工学部

11) MnSi<sub>1.7</sub> 及び M2Si (M=Mg, Ca, Sr) 薄膜の成長、立岡浩一、第 10 回シリサイド系半導体夏の学校、2007.7.29、掛川市

12) Growth and Thermoelectric Property of New Semiconducting Silicide, Ca<sub>2</sub>Si、Y. Warashina, T. Kobayashi, H. Tatsuoka, T. Hayashi, Y. Horio、国際ナノ熱電シンポジウム、2007.6.11-12, Senri

13) M2Si<sub>1-x</sub>Gex (M=Mg, Ca) 粉末の作製 齋藤洋祐, 百瀬与志美, 小山忠信, 早川康弘, 立岡浩一 第 54 回応用物理学関係連合講演会、2007.3.29 青山学院大学

14) Novel Growth Techniques for a Variety of Semiconducting Silicides (invited)、H. Tatsuoka、The 3rd International Symposium on Nanovision Science and The 9th Joint International Conference on Advanced Science and Technology、2007.1.24、Shizuoka Univ.

15) Growth Temperature dependence of structural properties on Iron Silicide Layers Grown Using FeCl<sub>2</sub> Source M. Nishiura, Y. Momose, T. Matsuyama and H. Tatsuoka 2006 International Workshop on Sustainable Energy and Materials, 2006.9.5, Meiji University

16) TEM Observations of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> Layers Grown on Glass Substrates T. Satake, K. Yamaguchi, H. Yamamoto, T. Matsuyama, and H. Tatsuoka 2006 International Workshop on Sustainable Energy and Materials, 2006.9.5, Meiji University

17) Growth Time Dependence of Layer Morphology on MnSi<sub>1.7</sub> Layers Grown in MnCl<sub>2</sub> Vapor、T. Kurokawa, T. Matsuyama and H. Tatsuoka、2006 International Workshop on Sustainable Energy and Materials, 2006.9.5、Meiji University

18) Growth of Nanofibers using  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si and Mg<sub>2</sub>Si Substrates with Ga Droplets K. Shiozawa, S. Honda, K. Ogino, Y. Saito, and H. Tatsuoka 2006 International Workshop on Sustainable Energy and Materials、2006.9.5、Meiji University

19) Novel Growth Techniques for a Variety of Group II Metal Silicides (Invited) K. Miura, T. Inaba, Y. Mizuyoshi, N. Takagi,

Y. Momose and H. Tatsuoka 2006 International Workshop on Sustainable Energy and Materials-Invited, 2006.9.5, Meiji University

20) イントロダクトリートーク：シリサイド半導体研究 10 年のトピックス、立岡浩一、第 67 回応用物理学学会学術講演会、シリサイド系半導体と関連物質研究会合同企画シンポジウム「シリサイド半導体研究 10 年の進捗」2006.8.30、立命館大学

21) Growth of MnSi<sub>1.7</sub> Layers on Si Substrates in MnCl<sub>2</sub> Vapor T. Kurokawa, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

22) Structural and Thermoelectric Properties of Mg<sub>2</sub>Si<sub>0.6</sub>Ge<sub>0.4</sub> Processed by Spark Plasma Sintering Method Y. Mizuyoshi, M. Akasaka, T. Iida, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

23) Growth and Structural Properties of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> layers on Glass Substrates T. Satake, K. Yamaguchi, H. Yamamoto, T. Matsuyama and H. Tatsuoka、Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

24) Structural Property of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> Layers Deposited on FeSi from a Molten Salt、T. Ohishi, M. Okubo, A. Mishina, I. Yamauchi, T. Matsuyama and H. Tatsuoka, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

25) Growth Evolution of Iron Silicide Layers on Si Substrates Using FeCl<sub>2</sub> Source、M. Nishiura, Y. Momose, T. Matsuyama and H. Tatsuoka、Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

26) Preparation of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> Substrates by Molten Salt Method M. Okubo, T. Ohishi, A. Mishina, I. Yamauchi, H. Uono, T. Suemasu, T. Matsuyama and H. Tatsuoka、Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

27) Preparation and electrical property of Ca<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> and Sr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> powders, T. Inaba, A. Kato, K. Miura, Y. Momose and H. Tatsuoka、Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides, July 29-31, 2009 Kyoto.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

1) 立岡浩一、齊藤祥朗：「ナノワイヤ部材およびその製造方法」、出願日 20060629、公開番号 2008007376、公開日 20080117

○取得状況（計 3 件）

立岡浩一他：「 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>の製造方法」、  
登録番号 4241123 登録日 20090109

立岡浩一他：「マグネシウムシリサイドの合成方法および熱電素子モジュールの製造方法」登録番号 3772206、登録日 20060224

立岡浩一他：「マグネシウムシリサイドの合成方法」登録番号 3882047 登録日 20061124

[その他]

1. NASA News Releases, NASA Finds New Type of Comet Dust Mineral, June 12, 2008 (彗星のちりから新種の鉱物発見について)
2. 中日新聞、静岡新聞(2008.8.23) ひらめき☆ときめき☆サイエンス 静岡大工学部、電子工学研究所

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

名前 立岡浩一  
静岡大学・工学部・教授  
研究者番号 40197380

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし