

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01477

研究課題名(和文)バンド軌道制御によるシリサイド半導体の光学機能創出

研究課題名(英文)Creation of new optical function by a control of band orbital hybridization in semiconducting silicides

研究代表者

寺井 慶和 (TERAI, Yoshikazu)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：90360049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：光通信波長帯1.5 μm で発光・受光機能を示す新規光材料である鉄シリサイド半導体 (FeSi_2)を研究対象とし、その発光機能の向上を目的に第3元素添加による電子構造制御に関する研究を実施した。その結果、Feの一部を同族元素のRuで置換した $(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ の作製に成功し、 $x=0.57$ までの高濃度Ru添加が可能であることを見いだした。そして、Ru添加により目的とした電子構造変化を誘起し、1.5 μm 発光強度が増大することをはじめて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の光ファイバー光通信で用いられる波長1.5 μm 帯の半導体レーザーは希少金属や有害物質を含有した材料で作製されている。本研究では、地球上に豊富に存在し、人体に無害な元素で構成される新規光半導体の光通信応用を念頭に、既存機能の代替だけでなく、新機能発現のための学術研究を実施した。従来物質と大きく異なる電子構造をシリサイド半導体は有しており、本研究では、その電子構造を第3元素添加により制御可能であることを見いだした学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Be-ta iron silicide semiconductors (FeSi_2) is a new optical material that shows light-emitting and light-receiving functions in the optical communication wavelength of 1.5 μm . The purpose of this research is to enhance the light-emitting intensity by control of its electronic structure due to adding a third element of Ru. As a result, we succeeded in the growth of $(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ up to $x = 0.57$. Then, it was found that the addition of Ru induces the desired change in electronic structure and the increases of the emission intensity at 1.5 μm .

研究分野：半導体光物性

キーワード：シリサイド半導体 鉄シリサイド 電子構造制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体シリコン(Si)は大規模集積回路から太陽電池まで、現代社会に必要不可欠なデバイスで中核的機能を果たしており、今後の継続的使用と用途拡大に疑いの余地はない。しかし、すでに高度な学術領域が構築され、デバイス作製技術も類を見ないほど洗練されており、Si、Ge といった 14 族元素半導体だけでは今後の飛躍的な発展は望めない。そのため、Si 系新機能デバイスを創出するためには元素戦略的に優れ、Si テクノロジーと整合する新材料を取り入れる必要がある。鉄とシリコンから構成される鉄シリサイド半導体 $\beta\text{-FeSi}_2$ は Si 基板上にエピタキシャル成長可能であり、光通信波長 $1.5\ \mu\text{m}$ で発光および巨大屈折率($n=5.2$)を示し、Si より光吸収係数が 100 倍(at $1\ \mu\text{m}$)大きいという、Si では達成できない光学機能を有する。この $\beta\text{-FeSi}_2$ の光学機能を Si テクノロジーに取り入れ、Si 光集積回路、光導波路デバイス、Si 系薄膜太陽電池といった分野での Si 系新デバイスの創出が期待される。しかしながら、これまでに $\beta\text{-FeSi}_2$ からの $1.5\ \mu\text{m}$ 発光強度は弱く、その受光感度も低い問題があり、これらの問題を解決するための学術研究が必要であった。

2. 研究の目的

$\beta\text{-FeSi}_2$ の伝導帯下端と価電子帯上端のバンド構造は Fe の 3d 軌道成分が支配しており、この 3d 軌道バンドに起因して $\beta\text{-FeSi}_2$ は特徴ある光学機能を発現する。しかし、3d 電子の軌道は異方性が大きいと、電子・正孔の局在性が強くなる。また、選択則から 3d-3d 準位間の遷移は禁制遷移である。そのため、3d 軌道バンドの $\beta\text{-FeSi}_2$ ではキャリア拡散長が短く、伝導帯(3d) - 価電子帯(3d)間の光学遷移確率(振動子強度)が極めて小さくなるデメリットがある。 $\beta\text{-FeSi}_2$ のデバイス特性を改善するには、3d 軌道バンドの特徴(利点)を失わず、このデメリットを抑制または解消する新たな学術研究が必要不可欠である。そこで本研究課題では、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の 3d 軌道バンドに軌道の異方性が小さい p 軌道成分を制御して導入し、pd 混成軌道バンドに変化させる電子構造変化を誘起する。これにより、3d 軌道バンドのデメリットを抑制し、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の $1.5\ \mu\text{m}$ 発光強度を増大させることを目的とした。

3. 研究の方法

研究を計画するにあたり、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の Fe を同族元素である Ru で置換した $\beta\text{-RuSi}_2$ と $\beta\text{-FeSi}_2$ の電子構造を第 1 原理計算により求めた。バンドの状態密度に着目すると、 $\beta\text{-FeSi}_2$ は伝導帯と価電子帯とも Fe の 3d 軌道が支配的であるのに対し、 $\beta\text{-RuSi}_2$ では伝導帯は 3d 軌道、価電子帯は Si の 2p 軌道バンドが支配的になる結果が得られた。この事実をもとに、Fe の一部を Ru で置換した $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ ではバンド間遷移が許容遷移となる期待があり、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のデメリットである正孔の局在、バンド間禁制遷移が解消できると考えられる。そこで、本研究では Si 基板上的 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ 薄膜を作製し、ラマン分光および X 線回折測定による構造評価、発光測定、時間分解発光寿命により、pd 混成軌道バンドへの電子構造変化と発光強度増大効果について検証した。

4. 研究成果

【研究課題 1】 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ 薄膜の作製と構造評価

これまでに研究代表者は、スパッタリング法による固相成長により世界最高値の低残留電子密度 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜の作製に成功している。この成長技術を応用し、 $\beta\text{-FeSi}_2$ 成長で用いるスパッタリングターゲットに Ru 金属小片を追加して、 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ 薄膜の作製を行った。Ru 小片の枚数を変化させて Fe-Ru-Si アモルファス層を室温で堆積し、蛍光 X 線(XRF)測定から求めた組成分析結果を図 1 に示す。Ru 小片の増加に伴い膜中の Ru 組成比が増加し、最大で $x=0.57$ までの Ru 添加が達成された。次に、この Fe-Ru-Si アモルファス層を赤外線急速アニール(RTA)炉内で、 900°C 、16 時間の熱処理を施しシリサイド化反応させた。図 2 に X 線回折(XRD)パターンの Ru 組成比依存性を示す。 $\beta\text{-FeSi}_2(x=0)$ から Ru 組成が増加すると、各回折ピークが低角度側へ系統的にシフトした。新たな回折ピークも出現しないことから、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の結晶構造(斜方晶: Cmca 対称性)を維持しながら、その格子定数が Ru 組成に依存して変化していると判断される。回折ピーク位置より求めた各軸の格子定数(a, b, c)の Ru 組成比依存性を図 3 に示す。a 軸の格子定数は $\beta(600)$ の回折ピークから、b, c 軸の値は非常に近く区別がつかないため、高角度側の $\beta(024)(042)$ と低角度側の $\beta(040)(004)$ ピークから求めた平均値をプロットしている。図より各格子定数は Ru 組成とともに増加しており、最小二乗法によるフィッティング結果(点線)からベガード則に従うことが分かる。フィッティングから求めた各軸格子定数のベガード則を図中の式で示した。これは Fe サイトが原子半径の大きい Ru で置換されたため、格子全体が拡大したためと解釈される。図 3 中のピンク線は、唯一の報告例[H. Takizawa, et al., J. Mat. Sci, 30 (1995) 4199.]である $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{Si}_2$ 焼結体での結果を示す。粉末を焼き固めた焼結体では、 $x=0.2$ までしか添加できず、その格子定数変化もわずかである。

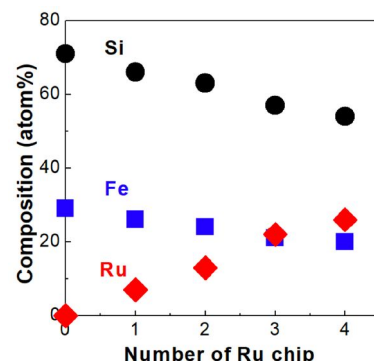


図 1 Ru 組成と Ru 小片数の関係

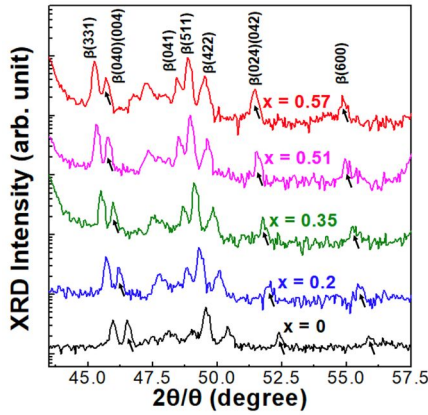


図2 XRD パターンの Ru 組成依存性

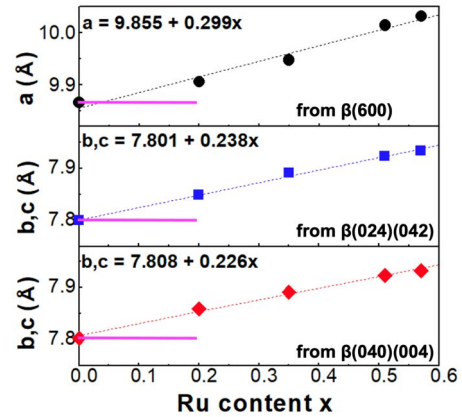


図3 各軸格子定数の Ru 組成依存性

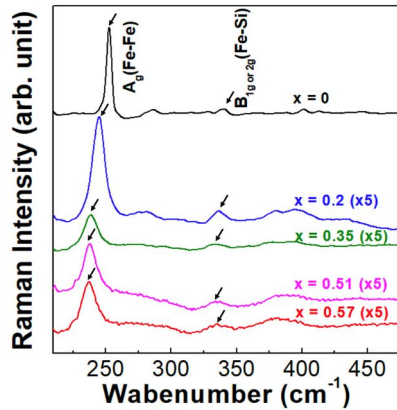


図4 ラマンスペクトルの Ru 組成依存性

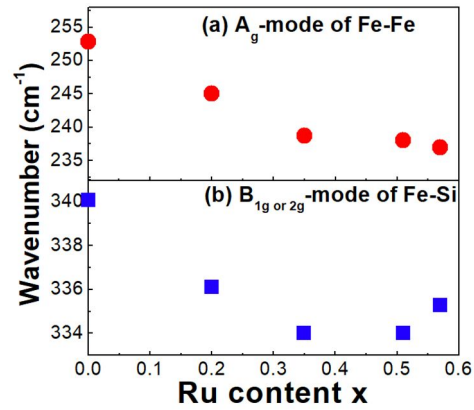


図5 ラマンピーク位置の Ru 組成依存性

それに対し、本研究で作製した β -($\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$) Si_2 薄膜では $x = 0.57$ まで大きく格子定数が変化しており、固相成長法は高 Ru 組成比の β -($\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$) Si_2 の作製に有効であると判断される。

添加した Ru の原子位置を調べるためラマンスペクトルを測定した。そのラマンスペクトルの Ru 組成比依存性を図 4 に示す。複数のラマンピークが観測されており、Ru 組成の増加に伴いスペクトルが低波数側にシフトしていることがわかる。 β - FeSi_2 ($x=0$) の 252, 340 cm^{-1} 付近で観測されるラマンピークは、それぞれ Fe-Fe の A_g モード (対称伸縮振動) と Fe-Si の B_{1g} or $2g$ モードと同定されている。図 5 に示したこれらラマンピーク位置の Ru 組成依存性では、両ピークとも Ru 組成の増加に伴い低波数側にシフトしている。この結果は、Fe 原子が質量の大きい Ru 原子で置換され、換算質量の増加に伴い原子の振動数が低下したためである。よって、Fe 原子の Ru 原子置換が実証され、 $x = 0.57$ の高 Ru 組成比 β -($\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$) Si_2 薄膜の作製に成功したと判断される。

次に、発光測定用試料として Si (100 nm) / β -($\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$) Si_2 (2.5 nm) / Si(111) sub. の積層構造を作製した。この積層構造のエネルギーダイアグラムは量子井戸構造になっており、レーザーにより発生した光生成キャリアは効率的に β -($\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$) Si_2 層へ注入される。各 Ru 組成比で作製した積層構造試料の発光スペクトルを図 6 に示す。 β - FeSi_2 ($x=0$) は約 0.804 eV (1.54 μm) にピークを示す発光が観測されている。この発光は、 β - FeSi_2 の伝導帯から価電子帯への遷移による発光 (A バンド) と同定されている。Ru 添加試料では、そのスペクトル形状、A バンドピーク位置はほぼ

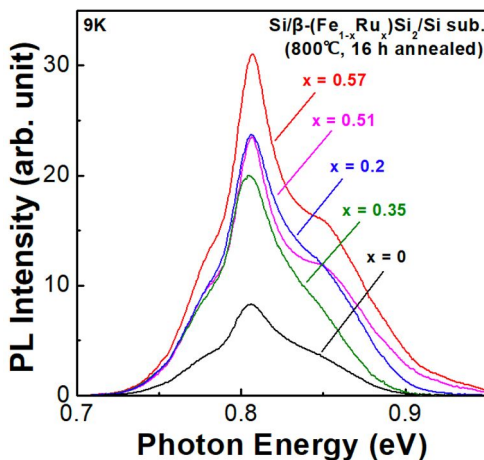


図6 発光スペクトルの Ru 組成依存性

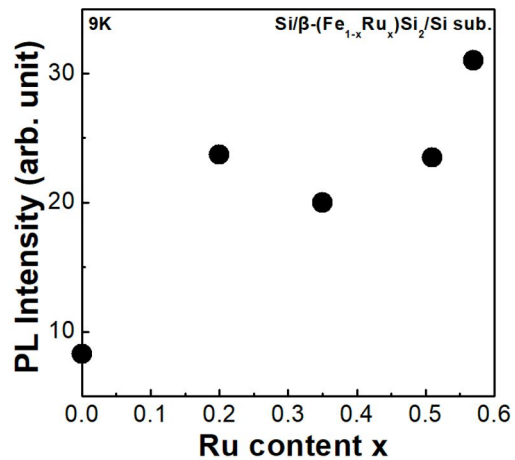


図7 発光ピーク強度の Ru 組成依存性

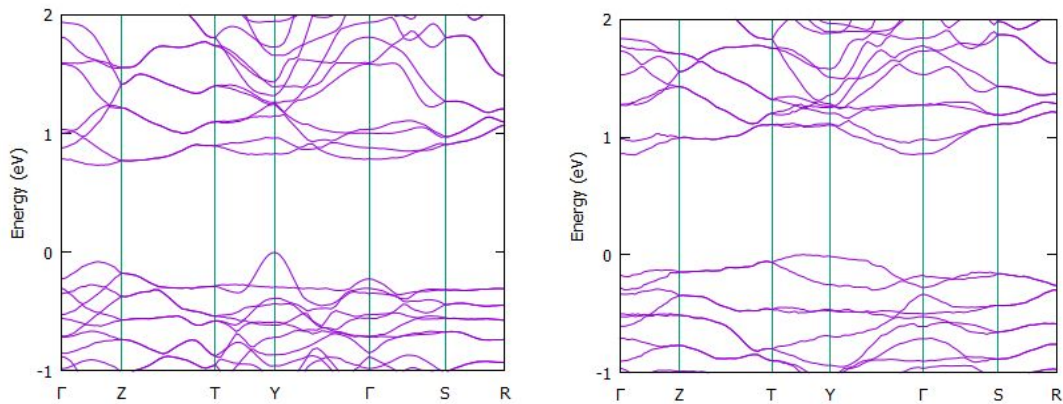


図8 第一原理計算により求めた、左： $\beta\text{-FeSi}_2$ ($x=0$)、右： $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ ($x=0.35$)の電子構造

変化せず、発光強度が増大していることがわかる。図7に示したAバンド発光強度のRu組成比依存性を見てわかるように、Ru添加により発光強度が明らかに増大した。この結果は、本研究目的であったRu添加によりSi-p軌道の混成度が増加し、pd混成軌道バンドが形成されたため、遷移確率が高くなったと考えられる。現在、時間分解発光測定により発光遷移確率を求めている最中であるが、Ru添加により遷移確率が高くなる予備的な結果が得られている。よって、目的のpd混成軌道バンドの形成による、発光強度の増大が達成されたと判断される。

最後に、図3で得られた格子定数をパラメータとして用い、第一原理計算による電子構造計算を行った。計算コードはquantum espressoを用い、ウルトラソフト型の擬ポテンシャル、カットオフエネルギー40 Ryで計算した。混晶系である $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ の計算では、Virtual Crystal Approximation (VCA : 図8)と $3 \times 3 \times 3$ のスーパーセルの両方法で電子構造を計算した。図8はその結果の一例であり、 $\beta\text{-FeSi}_2$ ($x=0$)と $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ ($x=0.35$)の電子構造を示す。これまでの報告通り、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の価電子帯の頂上はY点、伝導帯の底は Γ -Zの中間位置に存在する。Ruを添加した $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ では、価電子帯の頂上はY点のままであるが、伝導帯の底は Γ 点にシフトすることが、本研究ではじめて明らかとなった。また、バンドギャップ値は $\beta\text{-FeSi}_2$ と $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ で約0.7 eV (計算値)であり、Ru添加によりバンドギャップ値はほぼ変化していない。0.2 < x < 0.57のRu組成で計算を行ったところ、同じくバンドギャップの変化がないことが確認された。この計算結果は、発光スペクトルにおけるAバンドピークのエネルギー(図6)がRu添加によりほぼ変化しなかった事実と符合する。よって、 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ は高Ru組成比域においても光通信波長帯1.5 μm (0.8 eV)にバンドギャップを持つ新規半導体であることが理論的にも証明された。

以上のように、本研究ではRu添加 $\beta\text{-FeSi}_2$ を作製し、pd混成軌道バンド形成による発光強度増大を目指した研究を遂行した。その結果、 $x=0.57$ までの高Ru組成比 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ の作製にはじめて成功し、XRD測定によりこの混晶系でのベガード則を求めた。ラマン測定からはFeサイトのRu置換が証明され、目的とする斜方晶 $\beta\text{-(Fe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{)Si}_2$ の形成が確認された。発光測定、時間分解発光測定では、Ru添加によりバンド間遷移確率が高くなり、光通信波長帯の発光強度が増大することを明らかにした。よって、当初の研究計画通り研究が遂行され、目的もおおむね達成されたとと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yoshikazu Terai, Hiroki Nishi and Naohiro Oka	4. 巻 59
2. 論文標題 Photoluminescence properties of polycrystalline -FeSi_2 grown by RF magnetron sputtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFC01/1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab656e	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. Terai, H. Hoshida, R. Kinoshita, A. Shevlyagin, I. Chernev and A. Goualnik	4. 巻 8
2. 論文標題 Photoreflectance spectra of highly-oriented $\text{Mg}_2\text{Si}(111)//\text{Si}(111)$ films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics : Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011004/1-4
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Louise Benincasa, Hirofumi Hoshida, Tianguo Deng, Takuma Sato, Zhihao Xu, Kaoru Toko, Yoshikazu Terai and Takashi Suemasu	4. 巻 3
2. 論文標題 Investigation of defect levels in BaSi_2 epitaxial films by photoluminescence and the effect of atomic hydrogen passivation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 075005/1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2399-6528/ab2fa1	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 該当する
1. 著者名 Sho Aonuki, Yudai Yamashita, Takuma Sato, Zhihao Xu, Kazuhiro Gotoh, Kaoru Toko, Yoshikazu Terai, Noritaka Usami, and Takashi Suemasu	4. 巻 13
2. 論文標題 Significant enhancement of photoresponsivity in As-doped n- BaSi_2 epitaxial films by atomic hydrogen passivation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 051001/1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ab8725	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 Yoshikazu Terai, Haruki Yamaguchi, Hiroaki Tsukamoto, Naoki Murakoso, and Hirofumi Hoshida	4. 巻 8
2. 論文標題 Polarized Raman spectra of -FeSi_2 epitaxial film grown by molecular beam epitaxy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 105028/1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5042801	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 Takuma Sato, Hirofumi Hoshida, Ryota Takabe, Kaoru Toko, Yoshikazu Terai, and Takashi Suemasu	4. 巻 124
2. 論文標題 Detection of local vibrational modes induced by intrinsic defects in undoped BaSi_2 light absorber layers using Raman spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 025301/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029320	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 Kenta Setojima, Shuya Ikeda, Kazuya Ogi and Yoshikazu Terai	4. 巻 386
2. 論文標題 Growth of Ru_2Si_3 Polycrystalline Thin Films by Solid Phase Epitaxy in Ru-Si Amorphous Layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 33-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/DDF.386.33	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 Hajime Eguchi, Motoki Iinuma, Hirofumi Hoshida, Naoki Murakoso and Yoshikazu Terai	4. 巻 386
2. 論文標題 Growth of Sb-Doped -FeSi_2 Epitaxial Films and Optimization of Donor Activation Conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 38-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/DDF.386.38	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 Hirofumi Hoshida, Naoki Murakoso, Takashi Suemasu and Yoshikazu Terai	4. 巻 386
2. 論文標題 Identification of Vibrational Modes in BaSi ₂ Epitaxial Films by Infrared and Raman Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 43-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/DDF.386.43	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22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Mitsuki Abe, Hajime Eguchi, Hirofumi Hoshida and Yoshikazu Terai
2. 発表標題 Dependence of electrical conduction properties on activation conditions in Sb-doped α -FeSi ₂ epitaxial films
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials (APAC-SILICIDE 2019), July 20, 2019, Miyazaki, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Nishi, Naohiro Oka and Yoshikazu Terai
2. 発表標題 Photoluminescence properties of polycrystalline α -FeSi ₂ grown by RF magnetron sputtering
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials (APAC-SILICIDE 2019), July 20, 2019, Miyazaki, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Kinoshita, H. Hoshida, A. Shevlyagin, I. Chernev, A. Goualnik, and Y. Terai
2. 発表標題 Photoreflectance spectra of highly-oriented Mg ₂ Si(111)//Si(111) films
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials (APAC-SILICIDE 2019), July 20, 2019, Miyazaki, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西 大樹, 瀬戸島 健太, 寺井慶和
2. 発表標題 n-Ru ₂ Si ₃ /p-Si pn接合素子の作製と光応答特性
3. 学会等名 2019年 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 木下涼太, 阿部光希, 江口元, 寺井慶和
2. 発表標題 Sb添加 -FeSi ₂ エピタキシャル膜におけるSi/Fe組成比の最適化
3. 学会等名 2019年 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 西 大樹, 瀬戸島 健太, 寺井 慶和
2. 発表標題 固相成長法により作製したRu ₂ Si ₃ 多結晶薄膜の光学特性評価
3. 学会等名 第11回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西 大樹, 寺井慶和
2. 発表標題 n-Ru ₂ Si ₃ /p-Si pn接合素子における光応答特性の評価
3. 学会等名 2020年 第67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 阿部光希, N. G. Galkin, 寺井慶和
2. 発表標題 固相成長 -FeSi ₂ ナノ結晶の発光寿命評価
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 池田 修哉, 岡 直大, 寺井 慶和
2. 発表標題 B添加 -FeSi ₂ /Si多結晶積層構造における1.5 μm発光の基板依存性
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 星田裕文, 末益 崇, 寺井慶和
2. 発表標題 BaSi ₂ エピタキシャル膜における光変調反射率スペクトルのBa/Siフラックス比依存性
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 L. Benincasa, H. Hoshida, T. Deng, M. Sato, K. Toko, Y. Terai, and T. Suemasu
2. 発表標題 Investigation of defect levels in undoped-BaSi ₂ epitaxial films by PL measurement
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 H. Hirofumi, N. Murakoso, T. Suemasu, Y. Terai
2. 発表標題 Identification of Raman vibrational modes in BaSi2 epitaxial film by depolarization ratio
3. 学会等名 Fourth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hajime Eguchi, Motoki Iinuma, Hirofumi Hoshida, Naoki Murakoso and Yoshikazu Terai
2. 発表標題 Growth of Sb-doped α -FeSi2 epitaxial films and optimization of donor activation conditions
3. 学会等名 Fourth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Setojima, S. Ikeda, K. Ogi, N. Oka, Y. Terai
2. 発表標題 Growth of Ru2Si3 polycrystalline thin films by solid phase epitaxy in Ru-Si amorphous layers
3. 学会等名 Fourth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星田裕文, 末益 崇, 寺井慶和
2. 発表標題 偏光ラマン測定を用いたBaSi2エピタキシャル膜の分子振動評価
3. 学会等名 第10回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江口 元, 飯沼 元輝, 星田 裕文, 村社 尚紀, 寺井 慶和
2. 発表標題 Sb添加 -FeSi ₂ エピタキシャル膜の作製とドナー活性化条件の最適化
3. 学会等名 第10回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部光希, 江口元, 星田裕文, 寺井慶和
2. 発表標題 Sb添加 -FeSi ₂ エピタキシャル膜におけるSb置換サイトの検証
3. 学会等名 平成30年度応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡 直大, 瀬戸島 健太, 寺井 慶和
2. 発表標題 Si/B添加 -FeSi ₂ /Si多重積層構造における発光スペクトル評価
3. 学会等名 平成30年度応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡 直大, 佐藤隆治, 寺井慶和
2. 発表標題 Si/B添加 -FeSi ₂ /Si積層構造における1.5 μm発光の活性層厚依存性
3. 学会等名 2019年 第66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 江口 元, 阿部光希, 木下涼太, 村上智樹, 寺井慶和
2. 発表標題 Sb添加 -FeSi_2 エピタキシャル膜におけるドナー活性化条件の最適化(II)
3. 学会等名 2019年 第66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 L. Benincasa, H. Hoshida, T. Deng, T. Sato, K. Toko, Y. Terai, and T. Suemasu
2. 発表標題 Study of the origin of defect levels in undoped-BaSi ₂ epitaxial films by PL measurement
3. 学会等名 2019年 第66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 星田裕文, S. Alexander, I. Chernev, N.G. Galkin, 寺井慶和
2. 発表標題 Mg ₂ Si(111)//Si(111)高配向膜における光変調反射率スペクトルの評価
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州工業大学研究者詳細 https://research02.jimu.kyutech.ac.jp/html/100000800_ja.html 九州工業大学寺井研究室 http://brave.cse.kyutech.ac.jp/
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
ロシア連邦	Institute of	Automation and Control Processes	FEB, RAS