

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00303

研究課題名(和文) 軽元素制御による高機能な準安定シリコン系多元混晶材料の創製

研究課題名(英文) Creation of functional metastable silicon-based multiple element materials by controlling light elements

研究代表者

宇佐美 徳隆 (Usami, Noritaka)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：20262107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,500,000円

研究成果の概要(和文)：スズを含むペーストをシリコンまたはゲルマニウム基板上にスクリーン印刷し、パルスレーザーアニール処理を行う独自の非平衡成長法により、固溶限界を超えるスズを含む混晶薄膜が作製できることを実証した。また、エックス線回折や蛍光エックス線ホログラフィーによる評価からスズが格子位置を置換していることを示した。白色中性子ホログラフィーを高感度化し、半導体の欠陥を終端する水素原子の観測に道を拓いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、半導体原料を含むペーストのスクリーン印刷とパルスレーザーアニール処理という非真空下で大面積基板に適応可能な簡便なプロセスにより非平衡成長を実現し、固溶限界を超えるスズを含むシリコン系多元混晶薄膜を創成できることを実証した。これは材料の探索範囲を準安定相に拡張し、安定相では得ることのできない機能をもつ材料の創成や、その機能を生かしたデバイスの実現に繋がる成果といえる。また、白色中性子ホログラフィーを高感度化することにより水素が観測できることを強く示唆する結果が得られたことは、水素による材料機能発現機構の解明などの研究を深化させ、材料科学を進展させるため学術的意義が極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：We have demonstrated that a unique nonequilibrium growth method, in which a paste containing tin is screen-printed on a silicon or germanium substrate and then subjected to pulsed laser annealing, can be used to fabricate alloy thin films containing tin that exceed the solubility. In addition, the evaluation by X-ray diffraction and X-ray fluorescence holography showed that tin substitutes the lattice positions. White neutron holography was made highly sensitive, paving the way for the observation of hydrogen atoms passivating defects in semiconductors.

研究分野：結晶工学

キーワード：多元混晶 非平衡成長 軽元素 白色中性子ホログラフィー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超スマート社会の実現に向けた様々な社会的課題に応えるため、材料への要請は高度化の一途をたどっている。そのため、材料の多元素化、熱力学的な再安定相ではない準安定相の利用により材料探索範囲を大幅に拡大し、従来にない高性能・高機能材料の創製が必要である。材料の高機能化には、軽元素が、格子置換、欠陥終端などにより重要な役割を担う。しかし、軽元素が格子を組まない場合、軽元素および軽元素周囲の構造（局所構造）を観測する手法がない。よって、軽元素局所構造の観測手法を確立する必要がある。したがって、材料の多元素化、準安定相の利用、軽元素局所構造の観測に基づく材料開発手法のパラダイムシフトが不可欠である。

軽元素を含む多元素化と準安定相の実現により、大規模集積回路や太陽電池の基盤材料として社会を支えるシリコン(Si)に対し、飛躍的な高性能・高機能化が見込まれる材料にシリコンゲルマニウムスズ (SiGeSn) 混晶がある。水素(H)による欠陥終端、ホウ素(B)やリン(P)のドーピング、固溶限界を超える 10%程度以上の Sn の格子位置への導入などの局所構造制御により、直接遷移化や高キャリア移動度化などが期待される。Si や Ge への Sn の固溶限界は 1%にも満たないため、多元素化メリットの発現には非平衡成長が必要であり、準安定な高 Sn 組成化と高品質化はいずれも困難である。これまでに、分子線エピタキシー法や水中レーザーアニール法などの非平衡成長により、15%程度の高 Sn 組成薄膜が実現されている。しかし、大面積適用が困難な低速成長であるため、有用な物性が発現しても社会実装は進まない。また、局所構造の観測手法として原子分解能ホログラフィーが X 線と電子線で実用化され、重い元素周囲の構造に対して有用な測定法となっている。しかし、機能発現に重要な軽元素周囲の局所構造を薄膜試料で観測できる手法は存在しない。

よって、局所構造を制御した多元素化と非平衡化による材料の高性能・高機能化を SiGeSn をモデルとして具現化するには、以下の核心的な学術的「問い」に答える必要がある。

問い①: 準安定な高 Sn 組成と局所構造制御を実現するプロセスはどのようなものだろうか？ また、多くのプロセスパラメータを効率的に最適化する方法論はどのようなものだろうか？

問い②: 局所構造の観測範囲を薄膜中の水素にまで拡大することは可能だろうか？ 得られた結晶はどのような局所構造を持ち、特性にどのような影響を与えるだろうか？

2. 研究の目的

本研究の目的は、固溶限界を超える準安定な高 Sn 組成を達成す多元混晶を、大面積成長が可能な大規模生産に適したプロセスで実現するとともに、従来観測が不可能であった軽元素周囲の局所構造を可視化する技術を開発することで、シリコン系多元混晶材料の高機能化を実現するプロセスとその基盤となる学理を構築することにある。

本研究は、実用材料の範囲を大幅に拡大し、材料科学研究に軽元素周囲の局所構造という新たな視点を付加するため、社会的にも学術的にも大きなインパクトをもつ。

3. 研究の方法

材料創成プロセスは、Al 粒子と Ge 粒子もしくは Sn 粒子を混合したペーストを Si もしくは Ge 基板上にスクリーン印刷した後に、大気圧下でアニールを行うという独自のプロセスである。

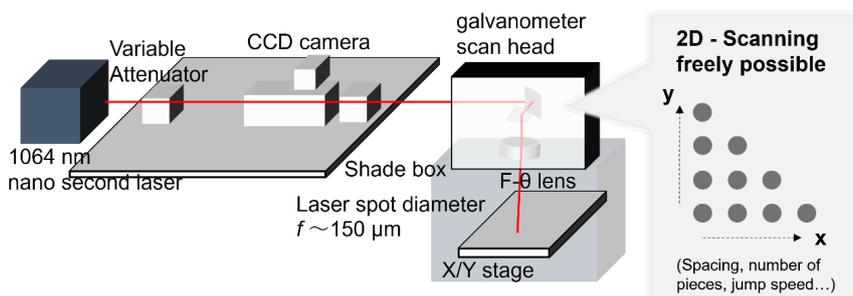


図1 パルスレーザーアニール装置の光学系

この手法は、非真空下で大面積・高速成長が可能という利点を有する。従来は、ランプ加熱炉を用いて熱平衡状態に近い条件下での成長を行っていたが、本研究では熱源としてパルスレーザーを利用することで非平衡成長の実現を試みた。装置の概略図を図1に示す1064 nmの波長の光ファイバーレーザーを光源に用いた。光源から射出された光は可変アッテネータを通過し、ガルバノミラースキャンヘッドに達する。可変アッテネータはレーザーの出力の制御と調整を容易にし、水平と垂直の出力変更を制御する役割を果たしている。ガルバノミラーは二枚の反射板を用いてレーザー加工点をx/y軸方向に変化させる。ガルバノミラーに反射され、F- θ レンズを通過したレーザーは試料表面に照射される。

Al-Ge 混合もしくは合金ペースト(Al:Ge=7:3)を Si(001)基板上に印刷した試料、及び Ge(001)基板上に Al-Sn 合金ペースト(Al:Sn = 45:55)を印刷した試料に、波長 1064 nm のナノ秒パルスレーザーを1点照射もしくは10×10の連続照射で急速熱処理を行った。フルエンス $F=0-15.0 \text{ J/cm}^2$ 、パルス回数 $N=1-10^6$ 、パルス幅 $w=250 \text{ ns}$ 、繰り返し周波数 $f=50 \text{ kHz}$ とした。表面 Al 残留物をエッチング除去した後、構造解析を行った。また参照用試料として、従来技術であるランプアニール法によりアニールして作製した SiSn 薄膜及び GeSn 薄膜を Sn の観測に用いた。

Sn の観測は、放射光施設 SPring-8 (兵庫県) の BL13XU で行った。図2は本実験を行った装置である。試料は本研究計画で準備した 0.1at% の Sn を含む SiSn 薄膜と 0.1~0.6at% の Sn を含む GeSn 薄膜である。蛍光 X 線ホログラフィーでは Sn の K_{α} 線を測定することで、元素選択性を確保した。 $E=34.0-37.5 \text{ keV}$ (0.5keV 刻み) の入射 X 線でホログラムを得ることで、再生原子像の信頼性を向上させた。

中性子ホログラフィーの実験と技術開発は大強度陽子加速器施設 J-PARC (茨城県) の BL10 で行った。BL10 は技術開発を目的としたテストポートであり、本研究計画には最適である。図3は J-PARC の BL10 に設置した中性子ホログラフィー実験装置である。特に、本計画において高分解能を持つ CeBr3 結晶ガンマ線検出器、および大強度測定に対応する $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) 結晶ガンマ線検出器を複数導入し、多検出器系を構築することを試みた。

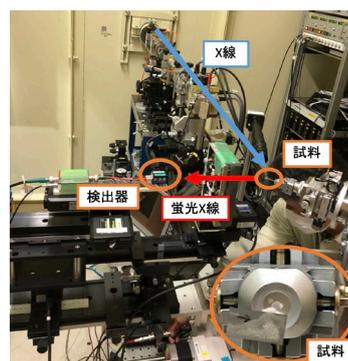


図2 SPring-8 BL13XU での蛍光 X 線ホログラフィー実験装置



図3 J-PARC の BL10 での中性子ホログラフィー実験装置

4. 研究成果

4-1 SiGe および GeSn の成長実験

図4(a)(b)に、2種類の異なるペーストを印刷した Si 基板試料に $F=14.0 \text{ J/cm}^2$ 、 $N=10^3$ 、でそれぞれ1点照射した際の、レーザー顕微鏡による表面形状の観察結果を示す。図4(a)の混合ペースト試料では体積減少、図4(b)の合金ペースト試料では体積増加が観察された。混合ペーストでは

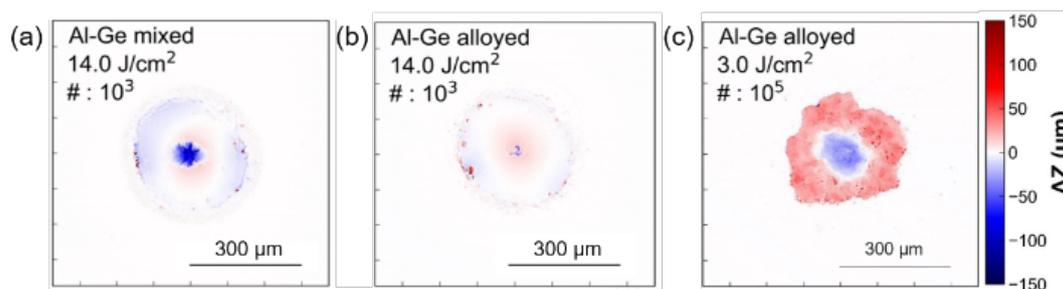


図4 パルスレーザーアニール (1点照射) 後の照射領域の表面トポグラフィ。(a)混合ペーストで体積減少の観測例、(b)合金ペーストで体積増加の観測例、(c)合金ペーストでドーナツ状になった事例

不均一な熱伝導性からアブレーション効果が支配的となり、合金ペーストはその均一な Al-Ge 分布から、十分なペースト溶解をしたことで SiGe 薄膜が均一成膜したと考えられる。次に、合金ペースト試料に $F=4.0 \text{ J/cm}^2$ 、 $N=10^5$ で 1 点照射した際の表面形状を図 4(c) に示す。照射領域がドーナツ形状になっている。これはマランゴニ効果により融液層が外側へ押し出されたためと考えられる。よって表面平坦かつ均一な SiGe 非平衡成長には、合金ペーストかつ低 N が有用なことが示唆される。

次に GeSn 薄膜成長のため、Al-Sn 合金ペーストを印刷した Ge 基板試料に対して、 N と F を変化させて 1 点照射を行った。SiGe モデル系の知見から、 N と F は非平衡成長しやすいと考えられる領域 ($N=1-10^4$, $F=0\sim 15.0 \text{ J/cm}^2$) に限定した。なおパルス幅とパルス繰り返し周波数はそれぞれ、 $w=250 \text{ ns}$ 、 $f=50 \text{ kHz}$ である。レーザー顕微鏡測定より求めた、Ge 基板を基準面とした体積変化の様子を示す (図 5a)。 $N=10^2$ では F を増加させていくと明瞭な体積増加の様子が観察された。 $N=10^3$ では F を増加させていくと、体積増加したのち、アブレーションの傾向が強まり、試料が破壊に至る。さらに $N=10^4$ では、すぐに破壊に至る様子が観察された。 N が増加するほど低い F で GeSn 薄膜形成に対応する体積増加が始まり、薄膜形成に対する PLA 条件の閾値変化の様子がわかる。

図 5(b) は、体積増加がみられる PLA 条件 ($N=10^3$, $F \leq 2.0 \text{ J/cm}^2$) で連続照射した領域の顕微ラマンスペクトルである。Ge 基板と比較して明瞭なピークシフトが観察され、GeSn 薄膜の形成を示唆している。図 5(c) は同領域の XRD 逆格子マッピングの結果である。逆格子点の広がりから、平衡固溶限を超える Sn 固溶量 (0-10%) を持つ GeSn 混晶薄膜が形成したと考えられる。

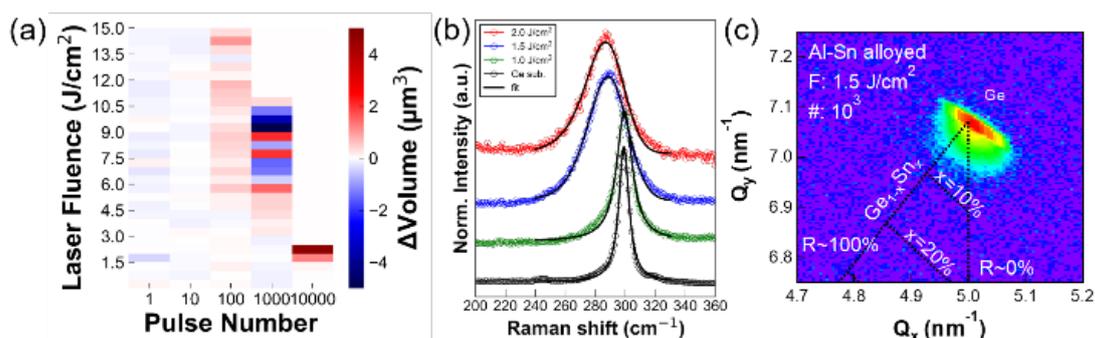


図 5 (a)パルスレーザー照射領域の体積変化とレーザーパラメータの関係、(b)Ge-Ge ピーク近傍のラマンスペクトルの比較、(c)GeSn 薄膜の X 線逆格子空間マップ

4-2 蛍光 X 線ホログラフィー

図 6(a)(b) は、SPring-8 (兵庫県) での蛍光 X 線ホログラフィーでの 0.1at%Sn dope Si 薄膜での原子像で、図 6(a) はドープした Sn (図 6(c) の青) から $a/2$ (a : 格子定数) の (100) 面 (図 6(c) のオレンジ面) を、図 6(b) は Sn を含む (100) 面 (図 6(c) の赤面) を示している。赤/黒が Sn 周りの原子像である。緑丸は Sn が Si と置換した場合の Si の予想位置で、図 6(a) ではよ

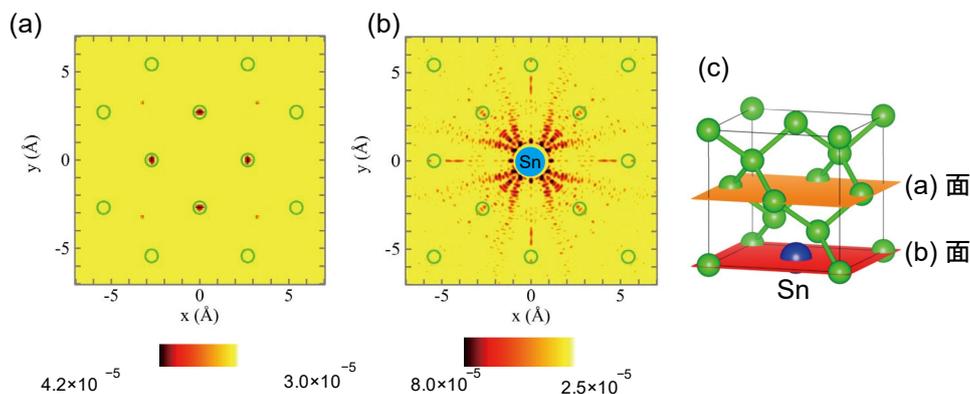


図 6 蛍光 X 線ホログラフィーでの SiSn 薄膜での原子像。Sn ((c)青丸) から $a/2$ (a : 格子定数) 離れた (100) 面 (a) と Sn を含む (100) 面 (b) を表示。緑丸は、Sn が Si と置換した場合の Si 予想位置。

い一致を見せる。図 6(b)は Sn 周りに アーティファクトが多数生じてしまっているが、丸内に像が見えている。このことから、Sn は Si と置換していることが確認できる。GeSn においても同様の結果が得られた。

4-3 中性子ホログラフィー

太陽電池材料の水素欠陥終端をはじめ、水素、リチウム、酸素などの軽元素はエネルギー材料などで重要であり、結晶中でのその位置と振る舞いの理解が必須である。したがって、軽元素観測に高い制度をもつ中性子の重要な役割は、軽元素、とくに水素の観測にあるとあってよい。特に大山らのグループは、世界で唯一中性子ホログラフィーを実現していることから、中性子ホログラフィーでの水素観測に取り組んだ。太陽電池では薄膜材料が中心であるが、中性子ホログラフィーでの水素観測は野心的な挑戦であるため、まずバルク試料からスタートした。中性子ホログラフィーを含め原子分解能ホログラフィーは試料として単結晶またはエピタキシャル薄膜でないと測定はできないが、水素化物のほとんどは水素脆化のため粉末になってしまい、測定対象とならない。そこで、水素化してもバルク状態を保つ Pd 単結晶を水素化し Pd を中心とする原子像を得ることを試みた。測定の高感度化のため、本研究計画で CeBr₃ 結晶多検出器系を構築した。CeBr₃ 結晶型は比較的エネルギー分解能が高い検出器で、元素選択性の向上を期待できる。また、エネルギー分解能は低いが大強度測定が期待できる Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO)結晶ガンマ線検出器でも多検出器系を構築した。この多検出器系をもちいて、水素化した PdH_{0.71} 単結晶での Pd 周りの原子像再生を行った。

図 7 は BGO、CeBr₃ 検出器で得られた(100)面 (z 図 7(c)の緑面) での原子像である。原子像は得られたホログラムをフーリエ変換して得られるため虚部と実部があるが、図 7 の原子像はその絶対値の二乗で表示している。図中の青丸、緑丸はそれぞれ H と Pd の予想位置である。主に信号強度不足から、多くのアーティファクトがあるが、赤矢印で示した位置に原子像があり、Pd と H を観測できている可能性がある。しかし、アーティファクトが多く、原子像再現に成功しているかどうかを判断することは困難である。そこで、H と Pd とでは中性子散乱長の符号が反対であることから、実部、虚部の原子像プロファイルを詳細に確認することで、原子像であるかを確認した。水素のみ存在する位置での一次元プロファイルを、歪みのない PdH 結晶を仮定したシミュレーションと測定データを比較した。詳細は省くが、この解析では散乱時の位相変化を補正している。両者はおおむね良い一致を見せたことから、図 7 の原子像の青丸中の像は水素である可能性が高いと判断できた。

これは中性子ホログラフィーでも水素が観測できることを強く示唆する結果であり、水素化物、とくに、水素が格子をくまない水素化物において、新しい研究の視点を与える結果である。

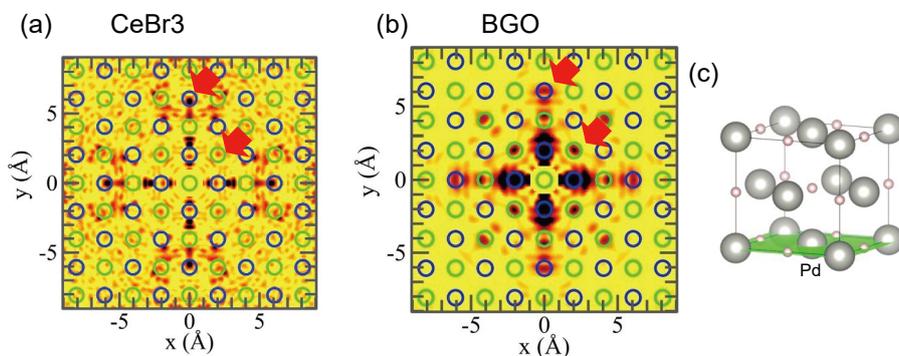


図 7 J-PARC での中性子ホログラフィーによる PdH_{0.71} の Pd 周りの原子像。図 7(c)に緑で示した(100)面に表示している。青丸、緑丸はそれぞれ H と Pd の予想位置。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Kanno Tomoya, Ohoyama Kenji, Nakada Hajime, Fukui Yuto, Yamakawa Kota, Hoshi Shota, Takano Motoki, Kobayashi Yodai, Tomimatsu Yuka, Takahashi Shingo, Oku Takayuki, Okudaira Takuya, Kobayashi Ryuju, Takada Shusuke, Harada Masahide, Oikawa Kenichi, Inamura Yasuhiro, Shishido Toetsu, Sato Keisuke, Hayashi Kouichi	4. 巻 1064
2. 論文標題 Development of instruments for imaging of local magnetic structure by magnetic neutron holography	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 169349 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2024.169349	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 Keisuke Fukuda, Satoru Miyamoto, Masahiro Nakahara, Shota Suzuki, Marwan Dhamrin, Kensaku Maeda, Kozo Fujiwara, Yukiharu Uraoka, Noritaka Usami	4. 巻 12
2. 論文標題 Epitaxial growth of SiGe films by annealing Al-Ge alloyed pastes on Si substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14770 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-19122-7	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 Hayashi Kouichi, Lederer Maximilian, Fukumoto Yohei, Goto Masashi, Yamamoto Yuta, Happo Naohisa, Harada Masahide, Inamura Yasuhiro, Oikawa Kenichi, Ohoyama Kenji, Wellmann Peter	4. 巻 120
2. 論文標題 Determination of site occupancy of boron in 6H?SiC by multiple-wavelength neutron holography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 132101 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0080895	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27件（うち招待講演 2件/うち国際学会 11件）

1. 発表者名 T. Sato, S. Miyamoto, L. Xuan, S. Suzuki, M. Dhamrin, N. Usami
2. 発表標題 SiGe epitaxial growth via pulsed laser annealing of Al-Ge pastes on Si
3. 学会等名 International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE20) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sato, S. Suzuki, H. Minamiyama, M. Dhamrin, S. Miyamoto, N. Usami
2. 発表標題 Crystal growth of group IV mixed crystal thin films using screen-printing and pulse laser annealing
3. 学会等名 2024 Korea-Japan PV Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤剛志, 宮本聡, 鈴木紹太, 南山偉明, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 印刷とパルスレーザーアニールによるSi基板上へのSiGe薄膜成長
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤剛志, 宮本聡, 鈴木紹太, 南山偉明, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 印刷とパルスレーザーアニールによるGe基板上へのGeSn薄膜成長
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Tomimatsu, Y. Kobayashi, K. Aizawa, S. Kawakami, K. Abe, T. Kuroume, M. Takita, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, S. Ajito, E. Akiyama, S. Orimo, K. Hayashi, K. Ohoyama
2. 発表標題 A challenge of observing hydrogen atoms in metals using white neutron holography
3. 学会等名 8th International Symposium of Quantum Beam Science at Ibaraki University (ISQBS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Ohoyama, Y. Kobayashi, Y. Tomimatsu, K. Aizawa, S. Kawakami, K. Abe, T. Kuroume, M. Takita, M. Harada, Y. Inamura, K. Oikawa, N. Happo, K. Hayashi
2. 発表標題 Neutron scattering technique with element selectivity for study of hyper-ordered structures of light elements
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Tomimatsu, Y. Kobayashi, K. Aizawa, S. Kawakami, K. Abe, T. Kuroume, M. Takita, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, S. Ajito, E. Akiyama, S. Orimo, K. Hayashi, K. Ohoyama
2. 発表標題 A challenge of observing hydrogen atoms in metals using white neutron holography
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤剛志, 宮本聡, 鈴木紹太, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 Al-Ge合金ペーストのパルスレーザー熱処理によるSi基板上へのSiGe薄膜成長
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 Takeshi Sato, Satoru Miyamoto, Shota Suzuki, Marwan Dhamrin, Noritaka Usami
2. 発表標題 Rapid growth of SiGe thin-films by pulsed laser annealing of Al-Ge alloyed pastes on silicon
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Hoshi, T. Kanno, M. Takano, W. Keiko, Y. Kobayashi, Y. Tomimatu, K. Kimura, N. Happo, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Fukuda, S. Miyamoto, N. Usami, K. Hayashi, K. Ohoyama
2. 発表標題 Verification of Sn position in Sn-doped Si,Ge thin film solar cell materials by X-ray fluorescence holography
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星 翔太, 菅野 友哉, 高野 元輝, 小林 洋大, 富松 優花, 木村 耕治, 八方 直久, 鈴木 紹太, ダムリン マルワン, 宮本 聡, 宇佐美 徳隆, 林 好一, 大山 研司
2. 発表標題 太陽電池材料 Sn ドープ Si, Ge 薄膜中の Sn 及び Ge 周りの原子イメージング
3. 学会等名 中性子科学会第22回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Hoshi, T. Kanno, M. Takano, W. Keiko, Y. Kobayashi, Y. Tomimatu, K. Kimura, N. Happo, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Fukuda, S. Miyamoto, N. Usami, K. Hayashi, K. Ohoyama
2. 発表標題 Study of local structures in Sn doped Si,Ge thin film for evaluation of Sn concentration
3. 学会等名 International Workshop on Exploration of Atomistic Disorder in Long-Range Ordered Systems and of Order in Disordered Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星翔太, 菅野友哉, 高野元輝, Keiko Widyanisa, 小林洋大, 富松優花, 木村耕治, 八方直久, 鈴木紹太, ダムリン マルワン, 福田啓介, 宮本聡, 宇佐美德隆, 林好一, 大山研司
2. 発表標題 太陽電池材料SnドープSi,Ge薄膜での局所構造観測によるSn置換量の定量評価への試み
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Fukuda, Satoru Miyamoto, Shota Suzuki, Masahiro Nakahara, Marwan Dhamrin, Kensaku Maeda, Kozo Fujiwara, Noritaka Usami
2. 発表標題 Host-crystal orientation effects on SiGe epitaxial films grown by annealing Al-Ge alloyed pastes
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田啓介, 宮本聡, 鈴木紹太, 中原正博, ダムリン マルワン, 前田健作, 藤原航三, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 Al-Ge合金ペーストによるSi(111)基板上へのSiGe混晶薄膜の成長
3. 学会等名 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 K. Fukuda, S. Miyamoto, M. Nakahara, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Maeda, K. Fujiwara and N. Usami
2. 発表標題 High Ge-Content SiGe Films Epitaxially Grown by Annealing Al-Ge Alloyed Pastes on Si Substrate
3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials, SSDM 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田啓介, 宮本聡, 中原正博, 鈴木紹太, ダムリン マルワン, 前田健作, 藤原航三, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 合金ペーストにより形成されるSiGe混晶層のその場観察と構造評価
3. 学会等名 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 福田啓介, 宮本聡, 中原正博, 鈴木紹太, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 Al-Ge合金ペーストを用いた多接合型太陽電池のためのSiGe混晶層形成
3. 学会等名 第18回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム(第1回日本太陽光発電学会学術講演会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星翔太, 菅野友哉, 高野元輝, Keiko Widyanisa, 小林洋大, 富松優花, 木村耕治, 八方直久, 鈴木紹太, ダムリンマルワン, 福田啓介, 宮本聡, 宇佐美徳隆, 林好一, 大山研司
2. 発表標題 太陽電池材料SnドーブSi,Ge薄膜の活性サイト位置のSn量の定量評価
3. 学会等名 日本中性子科学会科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星翔太, 菅野友哉, 高野元輝, 荒瀬将太郎, 石崎嵩人, 野田新太, 木村耕治, 八方直久, 中原正博, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆, 林好一, 大山研司
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによる太陽電池材料SnドーブSiGe薄膜の局所構造観測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 KEIKO WIDYANISA, 小林 洋大, 富松優花, 荒瀬 将太郎, 石崎 嵩人, 野田 新太, 菅野 友哉, 高野元輝, 星 翔太, 原田 正英, 及川 健一, 稲村 泰弘, 林好一, 大山 研司
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーの多検出器系の効果
3. 学会等名 日本中性子科学会科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田新太, 荒瀬将太郎, 石崎嵩人, 菅野友哉, 高野元輝, 星翔太, 原田正英, 及川健一, 林好一, 大山研司
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーの高分解能マルチ検出系の構築
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Nakahara, M. Matsubara, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Fukuda, S. Miyamoto, K. Maeda, K. Fujiwara, and N. Usami
2. 発表標題 Formation of SiGe alloyed films on Si substrate by screen-printing of Al-Ge pre-alloyed mixture pastes
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星 翔太, 菅野 友哉, 高野 元輝, 荒瀬 将太郎, 石崎 嵩人, 野田 新太, 木村 耕一, 八方 直久, 中原 正博, ダムリン マルワン, 林 好一, 大山 研司, 宇佐美 徳隆
2. 発表標題 原子分解能ホログラフィーを用いた太陽電池材料 SnドーブSi薄膜のSn位置の決定
3. 学会等名 日本中性子科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大山 研司, 杉本 和哉, 山本 隆文, 荒瀬 将太郎, 石崎嵩人, 野田 新太, 菅野 友哉, 高野 元輝, 星 翔太, 八方 直久, 原田 正英, 及川 健一, 稲村 泰弘, 林 好一
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーの最近の進展と次の展開
3. 学会等名 日本中性子科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田啓介, 宮本聡, 中原正博, 沓掛健太郎, ダムリンマルワン, 宇佐美徳隆
2. 発表標題 印刷と焼成で形成したSiGe混晶薄膜の顕微ラマン分析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 新しい材料科学の目：白色中性子ホログラフィー
3. 学会等名 日本物理学会76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 分 担 者	大山 研司 (Ohoyama Kenji) (60241569)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授 (12101)	

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