

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901  
研究種目：若手研究(A)  
研究期間：2017～2019  
課題番号：17H04919  
研究課題名（和文）超高速・省エネ動作を目指したゲルマニウムスズ・ナノワイヤMOSFETの創製  
  
研究課題名（英文）Fundamental research on germanium-tin narrow wires for high-speed/low-power MOSFETs  
  
研究代表者  
黒澤 昌志（KUROSAWA, Masashi）  
  
名古屋大学・工学研究科・講師  
  
研究者番号：40715439  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ゲルマニウムスズワイヤを用いたMOS型電界効果トランジスタ（MOSFET）の創製に向けて、デバイス形成に必要な基盤技術である（1）絶縁膜上におけるゲルマニウムスズワイヤの形成および電子物性評価、（2）高濃度n型ドーピング技術を構築した。加えて、（3）MOSFETや熱電素子の試作も行い、ゲルマニウムスズの基礎的な各種物性値（電子物性、熱物性に関するSn組成依存性など）を得た。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ゲルマニウムスズの基礎的な電子物性や熱物性を明らかにしたことに加え、ゲルマニウム系で困難とされてきた高濃度n型ドーピング手法の開発を行った。これらは、他の半導体デバイス（熱電素子や光学素子など）への応用が可能である。加えて、本研究がターゲットとするゲルマニウムスズは、デバイス応用、集積化の観点から最も有力視されているIV族元素で構成されているため、シリコン大規模集積回路などへの産業応用上の基盤になりうると期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, toward the creation of metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (MOSFETs) using germanium-tin narrow wires, basic technologies required for the device fabrication were investigated: (1) Crystal growth of germanium-tin narrow wires on Si wafers covered with an insulating film and its evaluation of the electronic properties, (2) Heavy n-type doping, and (3) Demonstrations of device fabrications such as MOSFETs and thermoelectric generators. Through the research, we have obtained dependences of the Sn content and solidification rate on the electronic and thermophysical properties of the germanium-tin binary alloys.

研究分野：半導体工学

キーワード：ゲルマニウムスズ 結晶成長 n型ドーピング MOSFET

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

21世紀のユビキタス情報社会では、コンピュータや情報通信機器と人間の接点が益々飛躍的に増大する。このまま対処しなければ、2025年には日本の総電力消費量の20%をICT機器が占めると予測されている。根本的な問題解決には、その主要構成部品であるシリコン集積回路(Si-ULSI: ultra large scale integrated circuit)中の相補型MOS(CMOS: complementary metal-oxide-semiconductor)回路の消費電力を下げる新技術の確立が急務である。電流駆動力(移動度)の高い新材料を導入し、電源電圧を下げることで省エネ化の有効手段であるため、チャネル移動度の高い半導体材料をSi-ULSIに3次元集積した「低電圧動作CMOS回路」が国内外で検討され始めている。Siに代わる移動度の高い半導体材料として、Siと同じIV族元素であるゲルマニウムスズ( $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ )二元混晶に着目し、研究を推進した。

### 2. 研究の目的

ゲルマニウムスズは電子材料としても、光学材料としても非常に魅力的である一方、基礎的な電子物性は必ずしも明らかにされていない。そこで本研究では、既存のSi-ULSIプロセスと親和性が高いゲルマニウムスズを用いたMOS型電界効果トランジスタ(FET: field effect transistor)の創製に向けて、デバイス形成に必要な基盤技術(結晶成長技術、ドーピング技術)を構築すると共に、ゲルマニウムスズの電子物性を系統的に理解・制御することを主な目的とした。

### 3. 研究の方法

様々なSn組成の単結晶ゲルマニウムスズワイヤを絶縁膜で覆われたSi基板上に形成する必要があるため、代表者のシーズ技術である偏析溶融成長法[M. Kurosawa et al., Applied Physics Letters 101, 091905 (2012)他]を用い、Sn組成制御手法の確立を検討した。また、Ge系の課題であるMOSFETのソース・ドレイン形成のための高濃度n型ドーピングは、水中PLA(pulsed laser annealing)法を用いた。これらの技術をゲルマニウムスズワイヤへと展開し、MOSFETなどのデバイスを試作した。

### 4. 研究成果

#### (1) 絶縁膜上におけるゲルマニウムスズワイヤの形成および電子物性評価

結晶成長は偏析溶融成長法を用いた。結晶成長前の試料模式図を図1(上)に示す。SiN(膜厚:100nm)を減圧CVD(chemical vapor deposition)法により低抵抗Si(001)上に成膜した基板に用いた。非晶質Si(膜厚:50nm)を分子線堆積法で堆積しアイランド状に加工後、熱処理(650°C、15時間)を行い多結晶シードを形成した。非晶質 $\text{Ge}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}$ (膜厚:100nm)を分子線堆積法により室温堆積し、ワイヤ状(全長:200 $\mu\text{m}$ または1000 $\mu\text{m}$ 、幅:3 $\mu\text{m}$ )に加工した。キャップ $\text{SiO}_2$ (膜厚:800nm)をプラズマCVD法により堆積した後、急速熱処理(>860°C)により溶融成長を誘起した。降温プロファイルを変化させることで、降温速度が結晶成長に与える影響を調査した。なお、ゲルマニウムスズワイヤの偏析溶融成長機構を議論するために、in-situ動画観察システムを新たに構築した。溶融成長時の温度プロファイルや窒素流量を意図的に変化させて、冷却速度を3~15°C/sの間で制御した(図1(下))。

冷却速度が早いほど過冷却状態が長時間化すること、その間の固化速度が20 $\mu\text{m}/\text{s}$ 程度と速く、格子置換位置Sn組成も増大する傾向にあることが判明した(図2(左))。これは、偏析成長時に固相から液相中に掃き出されたSn原子の拡散速度が固化速度に比べて遅く、液相中のSn組成が均一になる前に固化が進行するためだと考えると説明がつく。即ち、固化速度が早いほど固液界面の液相側のSn組成が増大するため、固化速度が速いほど格子置換位置Sn組成が増大したと推測される。液相部分混合・完全混合ハイブリッドモデルを用い、上記の結晶成長機構を定式化することにも成功した。加えて、オーミック電極形成プロセスを確立し四探針測定法による電気特性評価を行なった(図2

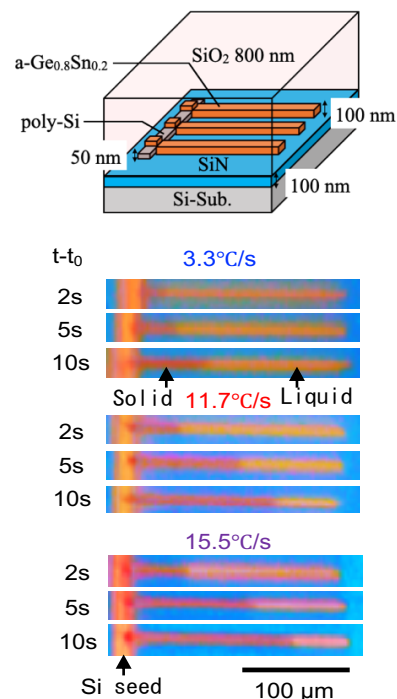


図1 偏析溶融成長法に用いた試料構造と様々な冷却速度でその場観察した固液界面が進行していく様子: 反射率の高い領域(黄色)が液相部分、反射率の低い領域(ピンク色)が固相部分である。

図2

(右)。S i 拡散領域ではS i 混入による電気伝導度の低下が、G e <sub>1-x</sub> S n <sub>x</sub> 領域ではS n 組成変動あるいは結晶性向上によると思われる電気伝導度の増加が観測された。バックゲート型電界効果トランジスタ (M O S F E T) の試作も行い、ゲルマニウムスズワイヤの電子物性に関してS n 組成増加にともなう電気伝導率の向上などを得た。

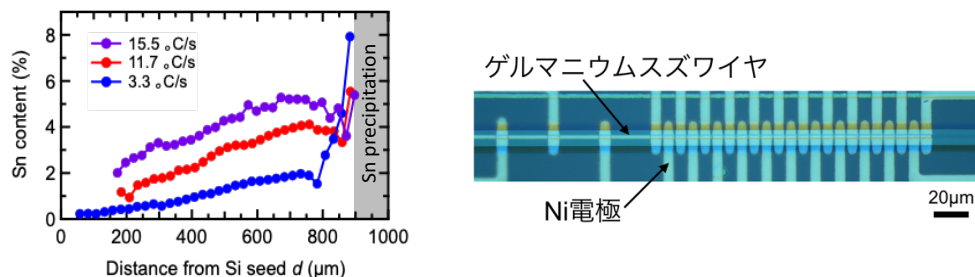


図2 (左) 様々な冷却速度で形成したゲルマニウムスズワイヤ中の格子置換位置S n 組成および (右) 電気特性評価に用いたバックゲート型M O S F E Tの光学電子顕微鏡像。

## (2) 高濃度n型ドーピング技術の構築および熱電デバイス応用

G e 系材料にとって、高濃度n型ドーピング技術は重要な研究開発要素の一つである。M O S F E Tのソース・ドレイン形成で求められるような高濃度 ( $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) のn型ドーピングを実現するには、以下の二点を踏まえ、新しいプロセス技術を開発する必要があった。第一に、G e は空孔欠陥が作る準位によりp型化しやすいことが知られており、n型ドーピングには欠陥密度の低い高品質な結晶形成が求められる。第二に、バルクG e 中のn型ドーパントの最大平衡固溶限が  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  を超えるものは存在しない。リン (P) をドーパした非晶質G e 薄膜の結晶成長および不純物活性化技術としてフラッシュランプアニール (F L A : f l a s h l a s e r a n n e a l i n g) 法が提案されているが、電子濃度は  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  程度で飽和する。G e <sub>1-x</sub> S n <sub>x</sub> の熔融結晶化においては、偏析によるPやS n の掃き出しが知られており、熔融・結晶化の短時間化が高濃度ドーピングの鍵と考えられる。そこで、F L A法に比べてアニール時間が3桁程度短く、高品質な多結晶G e <sub>1-x</sub> S n <sub>x</sub> 薄膜形成に有利な水中P L A (p u l s e d l a s e r a n n e a l i n g) 法 [M. K u r o s a w a e t a l., A p p l i e d P h y s i c s L e t t e r s 104, 061901 (2014)] を高濃度ドーピング技術に展開することを考えた。図3に纏めた通り、従来 (0.05~13%) に比べ非常に高い活性化率 (64%) を達成した。その結果、  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  のキャリア濃度においても電子移動度が  $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  と良好であった。

加えて、水中P L A法を用いたドーピング技術の基礎を確立すべく、ゲルマニウムスズ薄膜に対してドーパント種 (B, A l, G a, I n, P, A s, S b) 依存性を調査した。レーザー照射後に膜中に残存しやすいドーパント (S b, A s) とそうでない場合があることを見出した。酸素のケミカルポテンシャルが低い (即ち酸化しやすい) ドーパントほど残存しにくい傾向が見られるため、本プロセスではS b, A s等の酸化されにくいドーパントを選択すること、あるいは、酸素のケミカルポテンシャルがより低いアセトン水を水の代わりに使用することが望ましいと結論づけられる。これらの応用例として、高濃度n型およびp型ドーピングが必須の熱電素子を  $300^\circ\text{C}$  以下の低温プロセスを用いて作製し、その熱電変換動作に成功した。本手法で形成したn型多結晶ゲルマニウムスズは、I n P基板上にエピタキシャル成長したゲルマニウムスズ薄膜と同等のS e e b e c k係数と電気伝導率を有することも判明した。熱電材料としての多結晶ゲルマニウムスズの優れた性能を示した重要な成果である。一方、デバイス動作時においては、金属 (A l) / n型ゲルマニウムスズ界面における寄生抵抗の存在により、n型多結晶ゲルマニウムスズの性能を完全に引き出すことができなかった。熱電素子においても、M O S F E Tと同様に寄生抵抗の抑制が重要であることを示した。

以上の成果は、A p p l i e d P h y s i c s L e t t e r s (2018)、J a p a n e s e J o u r n a l o f A p p l i e d P h y s i c s (2018)に掲載されるとともに、J J A P S p o t l i g h t s論文としてハイライトされた。また、2016年秋季応用物理学会、第2回電子デバイス界面テクノロジー研究会での奨励賞受賞 (学生) に加え、取材記事がN a t u r e P h o t o n i c s (2017)に掲載された。

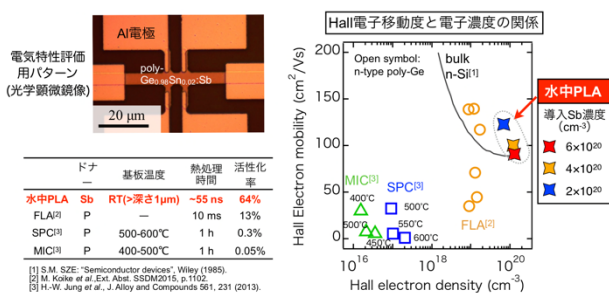


図3 水中P L A法により形成した多結晶n型G e <sub>1-x</sub> S n <sub>x</sub> 薄膜の電気特性。比較のために、金属誘起固相成長法 (M I C)、固相成長法 (S P C)、およびF L A法で形成した多結晶n型G e 薄膜やバルクのn型S i の値も示した。

以上を要約して、A p p l i e d P h y s i c s L e t t e r s (2018)、J a p a n e s e J o u r n a l o f A p p l i e d P h y s i c s (2018)に掲載されるとともに、J J A P S p o t l i g h t s論文としてハイライトされた。また、2016年秋季応用物理学会、第2回電子デバイス界面テクノロジー研究会での奨励賞受賞 (学生) に加え、取材記事がN a t u r e P h o t o n i c s (2017)に掲載された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Takahashi Kouta, Ikenoue Hiroshi, Sakashita Mitsuo, Nakatsuka Osamu, Zaima Shigeaki, Kurosawa Masashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Operation of thin-film thermoelectric generator of Ge-rich poly-Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> on SiO <sub>2</sub> fabricated by a low thermal budget process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 051016 ~ 051016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/1882-0786/ab1969">https://doi.org/10.7567/1882-0786/ab1969</a>	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 中塚 理、黒澤 昌志	4. 巻 88
2. 論文標題 ゲルマニウムスズ 族混晶薄膜の結晶成長と電子物性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 597 ~ 603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11470/oubutsu.88.9_597">https://doi.org/10.11470/oubutsu.88.9_597</a>	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 黒澤昌志	4. 巻 15
2. 論文標題 エネルギーハーベスティング応用に向けたIV族混晶 (Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> ) 薄膜の結晶成長	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本熱電学会学会誌	6. 最初と最後の頁 26-31
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 M. Kurosawa, Y. Imai, T. Iwahashi, K. Takahashi, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima	4. 巻 86
2. 論文標題 A New Application of Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> : Thermoelectric Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 321-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1149/08607.0321ecst">https://doi.org/10.1149/08607.0321ecst</a>	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 T. Maeda, W. H. Chang, T. Irisawa, H. Ishii, H. Oka, M. Kurosawa, Y. Imai, O. Nakatsuka, and N. Uchida	4. 巻 33
2. 論文標題 Ultra-thin Germanium-Tin on Insulator structure through the direct bonding technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Semiconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 124002-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1088/1361-6641/aae620">https://doi.org/10.1088/1361-6641/aae620</a>	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 K. Takahashi, M. Kurosawa, H. Ikenoue, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima	4. 巻 112
2. 論文標題 High n-type Sb dopant activation in Ge-rich poly-Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layers on SiO <sub>2</sub> using pulsed laser annealing in flowing water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 062104-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.4997369">https://doi.org/10.1063/1.4997369</a>	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 K. Takahashi, M. Kurosawa, H. Ikenoue, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima	4. 巻 57
2. 論文標題 Dopant behavior in heavily doped polycrystalline Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layers prepared with pulsed laser annealing in water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FJ02-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.04FJ02">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.04FJ02</a>	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29件（うち招待講演 9件／うち国際学会 13件）

1. 発表者名 中尾天哉, 西嶋泰樹, 清水智, 角田功, 中塚理, 黒澤昌志
2. 発表標題 偏析熔融成長法により形成した絶縁膜上Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 細線の電気特性評価
3. 学会等名 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 M. Kurosawa, M. Tomita, and T. Watanabe
2. 発表標題 Preparation of Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> -based Uni-leg Thermoelectric Generator
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-4) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kurosawa, M. Nakata, K. Ide, T. Katase, and T. Kamiya
2. 発表標題 Temperature dependence of thermoelectric properties of Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layers grown by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-4) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中尾天哉, 西嶋泰樹, 清水智, 角田功, 中塚理, 黒澤昌志
2. 発表標題 Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 細線の偏析溶融成長: 冷却速度の影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大石遼, 中塚理, 黒澤昌志
2. 発表標題 絶縁膜上における極薄Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 薄膜の固相成長
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒澤昌志
2. 発表標題 革新的多機能センサモジュール実現に向けた新しいIV族混晶熱電物質の創製 ~ド素人が熱電の分野に飛び込んで~
3. 学会等名 日本熱電学会 第23回研究会 「注目の熱電プロジェクト」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Maeda, W. H. Chang, T. Irisawa, H. Ishii, H. Hattori, M. Kurosawa, Y. Imai, O. Nakatsuka, and N. Uchida
2. 発表標題 Ultra-thin GeSn on Insulator structure through the direct bonding technique
3. 学会等名 1st Joint ISTDM/ICSI 2018 Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kurosawa, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 GeSn-based thin film thermoelectric generators
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials Processing, Fabrication, Properties, Applications (THERMEC'2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋恒太, 池上浩, 坂下満男, 中塚理, 財満鎮明, 黒澤昌志
2. 発表標題 多結晶Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 薄膜熱電素子の低温形成
3. 学会等名 第2回フォノンエンジニアリング研究グループ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井志明, 高橋恒太, 内田紀行, 前田辰郎, 中塚理, 財満鎮明, 黒澤昌志
2. 発表標題 単結晶p型Ge <sub>0.95</sub> Sn <sub>0.05</sub> 薄膜の熱電特性におけるドメインサイズの効果
3. 学会等名 第2回フォノンエンジニアリング研究グループ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 O. Nakatsuka, M. Kurosawa, and S. Zaima
2. 発表標題 Thin film growth and characterization of group-IV alloy semiconductors for future nanoelectronic applications
3. 学会等名 9th International Conference on Physics and Its Applications (ICOPIA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒澤昌志
2. 発表標題 IV族混晶薄膜の結晶成長と熱電デバイスへの応用
3. 学会等名 第68回フロンティア材料研究所学術講演会「革新的エナジーハーベスティングに向けた創エネルギー材料とデバイスの研究開発」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒澤昌志
2. 発表標題 スマートウォッチを支える熱電デバイスについて考える
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 高橋恒太, 今井祐太, 西嶋泰樹, 清水智, 黒澤昌志, 角田功, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 溶融成長法によるGe <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 細線の形成と電気特性評価
3. 学会等名 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 M. Kurosawa, Y. Imai, T. Iwahashi, K. Takahashi, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Composition and Strain Engineering of New Group-IV Thermoelectric Materials
3. 学会等名 AIMES 2018 Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋恒太, 黒澤昌志, 坂下満男, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 次世代半導体デバイスに向けたIV族混晶薄膜の形成と物性制御
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 黒澤昌志, 竹内和歌奈, 坂下満男, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 新しいIV族多元混晶薄膜の結晶成長とデバイス応用
3. 学会等名 2017年真空・表面科学合同講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒澤昌志, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 熱電材料応用を目指した新しい IV 族混晶(Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> , Si <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> )の開発
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井志明, 高橋恒太, 中塚理, 財満鎮明, 黒澤昌志
2. 発表標題 低温MBE法により形成したp型単結晶Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 薄膜の熱電特性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋恒太, 池上浩, 坂下満男, 中塚理, 財満鎮明, 黒澤昌志
2. 発表標題 水中バルスレーザアニール法により形成した高濃度ドーピングp型/n型多結晶Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 薄膜の熱電特性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒澤昌志, 今井志明, 岩橋泰正, 高橋恒太, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 新しいIV族混晶熱電材料:Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub>
3. 学会等名 第14回日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Iwahashi, M. Kurosawa, N. Uchida, Y. Ohishi, T. Maeda, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Sb-doping effect on thermal and electrical properties of Ge-rich Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layers
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials 2017 (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takahashi, M. Kurosawa, H. Ikenoue, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Dopants behavior in polycrystallization of heavily doped Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layer using pulsed laser annealing in water
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials 2017 (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takahashi, M. Kurosawa, H. Ikenoue, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Heavy n- and p-type doping for polycrystalline Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> layers using pulsed laser annealing in water
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-2) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kurosawa, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Growth and Applications of Si <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> Thin Films
3. 学会等名 232nd Electrochemical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kurosawa, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima
2. 発表標題 Crystal growth of GeSn-based materials and its application for thin-film thermoelectric generators
3. 学会等名 2017 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takahashi, H. Ikenoue, M. Sakashita, O. Nakatsuka, S. Zaima, and M. Kurosawa
2. 発表標題 Low thermal budget fabrication of poly-Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> thin film thermoelectric generator
3. 学会等名 2018 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Imai, K. Takahashi, N. Uchida, T. Maeda, O. Nakatsuka, S. Zaima, and M. Kurosawa
2. 発表標題 Domain size effects on thermoelectric properties of p-type Ge <sub>0.95</sub> Sn <sub>0.05</sub> layers grown on GaAs and Si substrates
3. 学会等名 2018 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋恒太, 黒澤昌志, 池上浩, 坂下満男, 中塚理, 財満鎮明
2. 発表標題 ドーパント種が水中パルスレーザーアニールによるGe <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> 薄膜への高濃度ドーピングに及ぼす効果
3. 学会等名 第65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〕

-

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