

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03565

研究課題名(和文)フェルミレベルピンニング軽減による金属/ゲルマニウム系材料低抵抗コンタクト

研究課題名(英文)Low Resistance Metal/Germanium Contacts by Alleviation of Fermi Level Pinning Phenomenon

研究代表者

中塚 理 (NAKATSUKA, Osamu)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：20334998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：高移動度半導体であるGeデバイス実用化のために、金属/Ge界面におけるコンタクト抵抗の低減技術を開発した。GeSnやSiGeSn等も含む新規Ge系混晶材料のエレクトロニクス応用に向けて、金属/Ge(Sn)コンタクトにおける界面物性解明と電気伝導特性の制御技術構築を目的とした。その結果、GeSnやSiGeSn界面層の導入あるいは金属ジャーマニドエピタキシャル層/Ge接合の形成によって、Schottky障壁の適切な制御を実証した。また、超高濃度アンチモンSbドープGe(Sn)エピタキシャル層の形成技術を開発し、 $3E-8$  cm<sup>2</sup>以下の低コンタクト抵抗率金属/n-Ge(Sn)接合の形成を実証した。

研究成果の概要(英文)：We have developed the technology for lowering the contact resistivity at metal/Ge interface for the application of high-mobility semiconductor material, germanium (Ge). The purpose of this research project was the clarification of the interface properties and the establishment of controlling technology of the electrical conduction properties of metal/Ge(Sn) contact for the application of novel Ge-related alloy materials; germanium-tin (GeSn) and silicon-germanium-tin (SiGeSn). As results, we have successfully demonstrated Schottky barrier height engineering by the introduction of the GeSn and SiGeSn interlayer and the formation of metal germanide epitaxial layer/Ge contacts. Also, we have achieved the formation of heavily Sb-doped Ge (Sn) epitaxial layer and demonstrate the formation of a metal/n-Ge(Sn) contact with an ultralow contact resistivity lower than  $1E-8$  / cm

研究分野：半導体工学

キーワード：界面 集積回路 ゲルマニウム コンタクト ショットキー障壁 ゲルマニウム錫

### 1. 研究開始当初の背景

Ge 系材料であるゲルマニウム錫 (GeSn) やシリコンゲルマニウム錫 (SiGeSn) は、従来の Ge や Si では不可能だった III-V 族化合物半導体と同様の直接遷移型半導体も実現しうる高移動度半導体材料として、研究開始当初から注目が集まっていた。一方、Ge 系材料の電子デバイス実現に向けては、金属電極と Ge との接合におけるコンタクト抵抗低減が大きな課題である。コンタクト抵抗低減に向けては、金属/Ge 界面における Schottky 障壁高さ (SBH) の低減、Ge 中の不純物濃度の向上が必要であるが、特に n 型 Ge においてはその両方が困難な現状であった。

金属/Ge 界面において、Ge の Fermi 準位が価電子帯端近くにピンされる Fermi レベルピンニング (FLP) が強く現れ、SBH の低減が難しいことが知られていた。n 型 Ge の SBH 低減のためには、FLP の軽減が必要であるが、FLP の発生機構の詳細は解明されていない。また、界面誘電体層の挿入や硫黄 (S) の修飾による SBH の低減などが報告されていたが、総体としての低抵抗コンタクトは実現されておらず、課題の本質的な解決には至っていない状況であった。

また、GeSn や SiGeSn などの新規 IV 族半導体のデバイス応用に向けても同様に金属/半導体界面のコンタクト抵抗制御は必要不可欠であるにもかかわらず、その系統的な研究はほとんど行われていない状況であった。

### 2. 研究の目的

高移動度半導体であるゲルマニウム (Ge) デバイスの実用化のために、金属/Ge 界面におけるコンタクト抵抗の低減技術を開発した。また、GeSn や SiGeSn など新たに注目される Ge 系材料のエレクトロニクス応用に向けて、その界面物性の解明と金属/半導体コンタクトにおける電気伝導特性の制御技術の構築を目的とした。本研究では、エピタキシャル界面など界面結晶構造制御による金属/Ge 接合におけるフェルミレベルピンニングの軽減とショットキー障壁高さ低減、金属/Ge(Sn)界面のエネルギーバンド構造の解明と制御、に基づいて、金属/Ge(Sn)低抵抗コンタクト形成技術の研究開発を推進した。本研究によって、金属/半導体界面の理解と制御を深め、Ge および GeSn などの Ge 系材料のエレクトロニクス応用に資する工学技術の構築を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究においては、GeSn あるいは SiGeSn などの様々な IV 族混晶極薄界面層あるいはエピタキシャル金属/Ge 接合などの結晶構造が制御された金属/Ge ショットキーダイオード試料を作製し、その結晶学的、電気的特性の評価を通して、界面構造がショットキー障壁高さに及ぼす影響の解明を進めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 金属/IV 族半導体界面層/Ge 接合の電気伝導特性の解明

Al/n 型 Ge 界面への膜厚 3nm の極薄 GeSn 界面層の挿入によって、Sn 組成の増大に伴って SBH を 0.62eV から 0.41eV にまで低減できることを実証した (図 1 参照)。また、この成果を達成するため、高 Sn 組成 GeSn 薄膜層のエピタキシャル成長技術を構築し、Ge 中の Sn の熱平衡固溶限界 1%の数十倍にあたる 46%に達する高 Sn 組成 GeSn エピタキシャル層の形成に成功した。

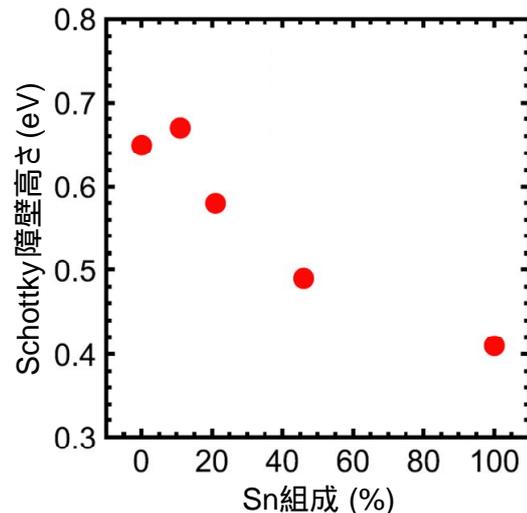


図 1. Al/GeSn/n-Ge 試料の Schottky 障壁高さの Sn 組成依存性。

極薄 GeSn 界面層を挿入した種々の金属/n 型 Ge 界面の SBH の金属仕事関数依存性を評価した結果、仕事関数依存性は金属/n-Ge 直接接合同様の勾配を示しながら、Sn 組成の増大に伴う SBH の減少を見出した。これは、金属/GeSn/Ge 接合において依然 Fermi レベルピンニングが生じていること、ただし、ピンニング位置が価電子帯端近傍から、伝導帯側へシフトすることを示している。

金属/ Ge 界面への膜厚 3nm の極薄 SiGeSn 三元混晶界面層の挿入によって、n 型 Ge に対しては室温におけるオーミック伝導特性を確認し、対照的に p 型 Ge に対しては整流性を確認できた (図 2 参照)。さらに、Al/SiGeSn/Schottky 障壁高さ (SBH) を 0.1eV 程度にまで低減できることを実証した。さらに、様々な組成、結晶構造の SiGeSn 界面層について検証した結果、Ge 基板に格子整合し、低欠陥な界面構造を有すると推測される SiGeSn において、より効果的に SBH が低減される傾向を実証した。界面結晶構造の改善が金属/Ge 接合における SBH の制御に重要であることを示唆している。特に、Ge 基板に格子整合した SiGeSn 中間層を挿入した試料において、Schottky 障壁高さ (SBH) の電極金属仕事関数依存性が最も強く発現し、そのスロープパラメータは 0.4 に達した。(比較とし

ての金属/Ge の場合は 0.03。) その結果、Al/SiGeSn/n-Ge 試料において、0.05eV 以下の低 SBH 実現を実証できた。(図 3 参照)

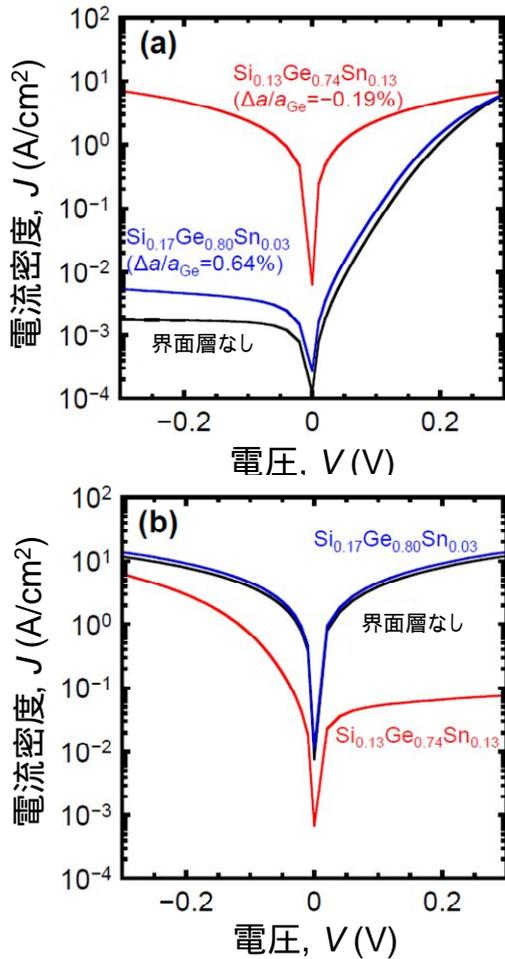


図 2. Al/SiGeSn/Ge 試料の Schottky 障壁高さの Sn 組成依存性。(a) n 型、(b) p 型接合。

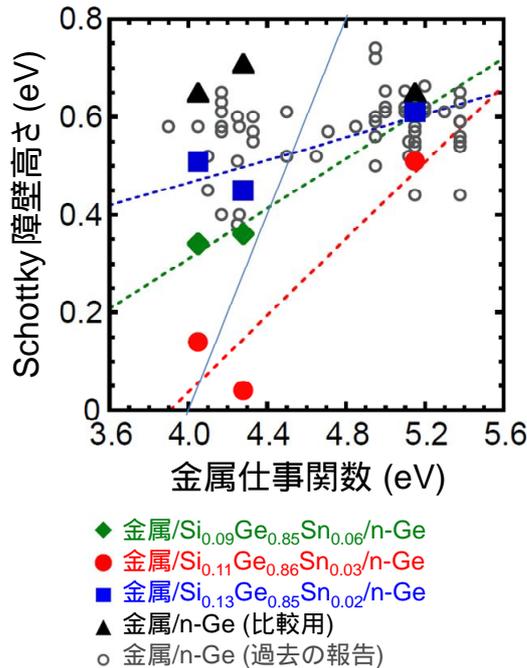


図 3. 様々な金属/SiGeSn/n-Ge 試料における Schottky 障壁高さの金属仕事関数依存性。

## (2) エピタキシャル金属ゲルマニド/Ge の形成および電気伝導特性制御

FLP の軽減と SBH 低減を目的として、金属/Ge 界面の結晶構造を制御し、その違いが電気伝導特性に及ぼす影響を調査した。本研究で開発した NiGe/Ge 界面結晶構造の制御技術を活用し、Ge(110)や Ge(001)の基板上において様々なエピタキシャル界面を有する NiGe/n 型 Ge コンタクトを形成した。また、その電気伝導特性を評価し、SBH と界面の結晶構造との相関を明らかにした。その結果、従来の多結晶 NiGe/n-Ge コンタクトにおける SBH、0.56eV から、NiGe(100)/n-Ge(110)界面において、0.42eV にまで低減できることを実証した(表 1 参照)。

表 1. Ge(110)および Ge(001)基板上に形成した様々なエピタキシャルおよび多結晶 NiGe との接合における Schottky 障壁高さ。(Schottky ダイオードの順方向電流-電圧特性の温度依存性から評価した。)

Ge基板結晶との結晶方位関係	Schottky障壁高さ (eV)
Epi. NiGe(100)    Ge(110)	0.42
Epi. NiGe(102)    Ge(110)	0.49
Poly. NiGe/Ge(110)	0.57
Poly. NiGe/Ge(001)	0.56
Epi. NiGe(111)    Ge(001)	0.57

さらに、TiN/Hf/Ge 試料に急速熱処理を加えることで、ゲルマニド化を施し、エピタキシャル HfGe<sub>2</sub>/Ge 接合を形成できることを実証した(図 4 参照)。X 線回折 (XRD) 2 次元逆格子空間マッピングおよび極点図測定を用いた評価によって、界面結晶構造を詳細に分析し、HfGe<sub>2</sub>(010)//Ge(001) および HfGe<sub>2</sub>[101]//Ge[100]の結晶方位関係を有する HfGe<sub>2</sub> 層が比較的均一に形成されていることを実証した。

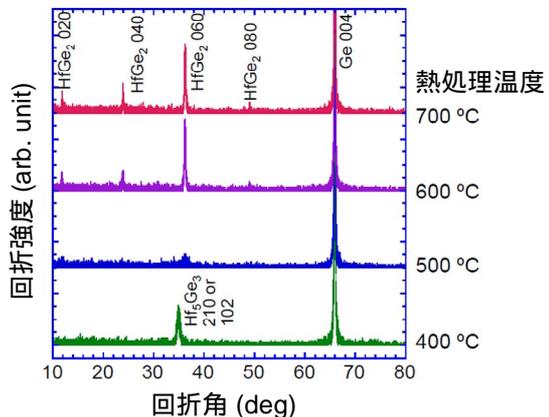


図 4. TiN/Hf/Ge(001)試料の熱処理後における XRD 2θ/ω プロファイル。600 以上の熱処理後において、特徴的な強度を示す HfGe<sub>2</sub>(010)面が観察される。

さらにその界面電気特性を評価した結果、一般的な金属/n-Ge コンタクトに比較して、0.2eV 程度低い0.4~0.5eVの低SBHが得られることを見出した。

### (3) IV 族混晶半導体の高濃度ドーピング技術と低抵抗コンタクト形成技術の開発

チャネル移動度向上のために様々な局所ひずみ構造によるチャネル材料への応力印加が検討されている。への一軸ひずみ Ge MOSFET のソース/ドレインストレッサに期待されるSbドーピングGeSnエピタキシャル層に向けて、金属/n型Ge(Sn)界面抵抗低減のために、GeおよびGeSnエピタキシャル層へのアンチモン(Sb) in situ ドーピング技術を構築した。

低温分子線エピタキシー技術とSbのサーファクタント効果を活用することで、Sbの固溶限界 ( $10^{19}\text{cm}^{-3}$ ) を一桁以上超える  $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$  以上の高電子濃度、かつ均一平坦でSn組成6%に達するSbドーピングGeSnエピタキシャル層の形成を達成した。マイクロ4探針測定、マイクロHall効果測定、硬X線光電子分光法などの複数の評価手法の併用によって、ドーピングした化学的Sb組成および電気的に活性化した格子置換位置Sb組成をそれぞれ精密に評価した。その結果、SbドーピングされたGeSn層は300の熱処理後においても、その格子置換位置Sb組成を維持しており、SbドーピングGeに比較して、熱的にも優れた安定性を有していることを見出した(図5参照)。

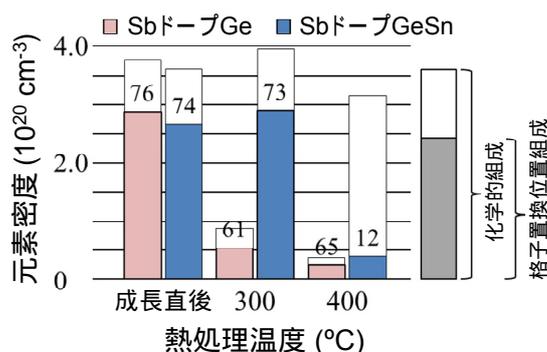


図5. 成長直後、300および400の熱処理後におけるSbドーピングGeおよびSbドーピングGeSn中の化学的Sb組成および格子置換位置Sb組成。各棒グラフ中の数字は化学的組成に対する格子置換位置組成の割合(電気的活性化率)を示す。

さらに、 $10^{20}\text{cm}^{-3}$  を超える高濃度SbドーピングGeSnおよびGe層試料に関して、円形transmission line model (TLM) によりAl/n-GeSnおよびAl/n-Geコンタクトの電導特性を評価した結果、 $3 \times 10^{-8}\Omega\text{cm}^2$  以下の低コンタクト抵抗率を実証できた。150の低温成長によりSb偏析のない高い電気的活性化率を有する高電子濃度Ge(Sn)層の実現によ

り、低コンタクト抵抗率を達成できると考えられる。

### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計10件)

1. O. Nakatsuka, A. Suzuki, J. McVittie, Y. Nishi, and S. Zaima, "Formation of epitaxial Hf digermanide/Ge(001) contact and its crystalline properties", Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 57, No. 7S, 07MA05 (5 pages), 2018.  
DOI: 10.7567/JJAP.57.07MA05
2. A. Suzuki, O. Nakatsuka, M. Sakashita, and S. Zaima, "Alleviation of Fermi level pinning at metal/n-Ge interface with lattice-matched  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_y$  ternary alloy interlayer on Ge", Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 57, No. 6, 2018, 060304 (4 pages).  
DOI: 10.7567/JJAP.57.060304
3. A. Suzuki, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima, "Modulation of Fermi level pinning position at metal/n-Ge interface by semimetal  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  and Sn interlayers", Mater. Sci. Semicond. Proc., 査読有, 70 (1), pp. 162-166 (2017).  
DOI: 10.1016/j.mssp.2016.12.028
4. 鈴木陽洋, 戸田祥太, 中塚理, 坂下満男, 財満 鎮明, "金属/Ge 接合への  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_y$  界面層導入がショットキー障壁高さに及ぼす効果", 特別研究会「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—」, 査読無, (第22回), 2017, pp. 63-66.
5. 中塚理, 渡部佳優, 鈴木陽洋, 西義雄, 財満鎮明, "[招待講演] 低温プロセスに向けたマイクロ波加熱処理によるNiGe/Ge接合の形成", 信学技報, 査読無, Vol. 116, No. 472, 2017, pp. 11-15.
6. J. Jeon, T. Asano, Y. Shimura, W. Takeuchi, M. Kurosawa, M. Sakashita, O. Nakatsuka, and S. Zaima, "Effect of in-situ Sb-doping on crystalline and electrical characteristics of n-type  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  epitaxial layer", Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 2016, Vol. 55, No. 4S, 04EB13 (5 pages).  
DOI: 10.7567/JJAP.55.04EB13
7. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, W. Takeuchi, M. Kurosawa, and S. Zaima, "Growth of ultra-high Sn content  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  epitaxial layer and its impact on controlling Schottky barrier height at metal/Ge interface", Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 2016, Vol. 55, No. 4S, 04EB12 (6 pages).  
DOI: 10.7567/JJAP.55.04EB12
8. 鈴木陽洋, 柴山茂久, 坂下満男, 竹内和歌奈, 中塚理, 財満鎮明, "金属/Ge 界面への超高Sn組成  $\text{Sn}_x\text{Ge}_{1-x}$  層導入による界面電気伝導特性の制御", 信学技報, 査読無, Vol. 115, No. 108, 2015, pp. 57-61.

9. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, W. Takeuchi, M. Kurosawa, and S. Zaima, "Reduction of Schottky barrier height at metal/n-Ge interface by introducing an ultra-high Sn content  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  interlayer", *Appl. Phys. Lett.*, 査読有 Vol. 107, 2015, 212103 (5 pages). DOI: 10.1063/1.4936275
  10. Y. Deng, O. Nakatsuka, M. Sakashita, and S. Zaima, "Influence of Interface Structure on Electrical Properties of NiGe/Ge Contacts", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 54, No. 5S, 2015, 05EA01 (6 pages). DOI: 10.7567/JJAP.54.05EA01
- [学会発表](計 38 件)
1. J. Jeon, A. Suzuki, K. Takahashi, O. Nakatsuka, S. Zaima, "Electrical Conduction Property at Metal/Heavily Sb-doped n- $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  Contact", 第 65 回応用物理学会春季学術講演, 早稲田大学, Mar. 17-20, 2018.
  2. O. Nakatsuka, M. Kurosawa, W. Takeuchi, M. Sakashita, and S. Zaima, "Heterostructure Engineering of GeSn and SiGeSn Group-IV Alloy Semiconductor Layers", 11th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018. (招待講演)
  3. O. Nakatsuka, M. Kurosawa, W. Takeuchi, M. Sakashita, and S. Zaima, "GeSn and related group-IV alloy thin films for future Si nanoelectronics", The Tenth International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-10), Nanchang, China, Nov. 4-7, 2017. (招待講演)
  4. O. Nakatsuka, A. Suzuki, J. McVittie, Y. Nishi, and S. Zaima, "Crystalline and electrical properties of epitaxial  $\text{HfGe}_2/\text{Ge}$  contact for lowering Schottky barrier height", Advanced Metallization Conference 2017: 27th Asian Session (ADMETA2017), Tokyo, Japan, Oct. 18-20, 2017.
  5. 中塚理, "GeSn 系 IV 族混晶薄膜の結晶成長および物性制御技術", (公財)科学技術交流財団 第 5 回「次世代デバイス実現に向けた先端二次元物質の物理と化学」研究会, (公財)科学技術交流財団 研究交流センター(ウインクあいち), 日本, 2017 年 10 月 6 日.
  6. J. Jeon, A. Suzuki, O. Nakatsuka, and S. Zaima, "Thermal Stability Study of in-situ Sb-Doped n- $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  Epitaxial Layers for Source/Drain Stressor of Strained Ge Transistors", International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (ICMaSS2017), Nagoya, Japan, Sept. 28-Oct. 1, 2017.
  7. O. Nakatsuka, M. Kurosawa, W. Takeuchi, M. Sakashita, and S. Zaima, "Developments of GeSn-related thin-film semiconductors for nanoelectronic and optoelectronic applications", *Frontiers in Materials Processing Applications, Research and Technology (FiMPart)*, Bordeaux, France, July 9-12, 2017. (招待講演)
  8. O. Nakatsuka, A. Suzuki, J. McVittie, Y. Nishi, and S. Zaima, "Formation of Epitaxial Hf Germanide/Ge Contacts for Schottky Barrier Height Engineering", 17th International Workshop on Junction Technology 2017 (IWJT2017), Kyoto, Japan, June 1-2, 2017.
  9. O. Nakatsuka, M. Kurosawa, W. Takeuchi, M. Sakashita, and S. Zaima, "Development of GeSn and related semiconductor thin films for next generation optoelectronic applications", 2017 Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2017), Guangzhou, China, May 24-25, 2017. (招待講演)
  10. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Toda, M. Sakashita, and S. Zaima, "Alleviation of Fermi level pinning at metal/Ge interface using lattice-matching group-IV ternary alloy interlayer", The 10th International Conference on Silicon Epitaxy and heterostructures (ICSI-10), pp. 211-212, Coventry, UK, May 14-19, 2017.
  11. J. Jeon, A. Suzuki, K. Takahashi, O. Nakatsuka, and S. Zaima, "Development of in-situ Sb-Doped  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  Epitaxial Layers for Source/Drain Stressor of Strained Ge Transistors", Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM 2017), Toyama, Japan, Feb. 28-Mar. 2, 2017.
  12. 中塚理, 渡部佳優, 鈴木陽洋, 西義雄, 財満鎮明, "低温プロセスに向けたマイクロ波加熱処理による NiGe/Ge 接合の形成", 応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会第 198 回研究集会, 東京大学本郷キャンパス, 日本, 2017 年 2 月 6 日. (招待講演)
  13. 鈴木陽洋, 戸田祥太, 中塚理, 坂下満男, 財満鎮明, "金属/Ge 接合への  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_y$  界面層導入がショットキー障壁高さに及ぼす効果", 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会・シリコンテクノロジー分科会共催特別研究会「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), 東レ研修センター, 日本, 2017 年 1 月 20~21 日.
  14. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Toda, M. Sakashita, and S. Zaima, "Control of Schottky barrier height of metal/Ge contact using group-IV alloy interlayers", JSPS Meeting 2016: Workshop on "Atomically

- Controlled Processing for Ultra-large Scale Integration", Forschungszentrum Jülich, Germany, Nov. 24-25, 2016.
15. O. Nakatsuka, Y. Watanabe, A. Suzuki, Y. Nishi, and S. Zaima, "Microwave Annealing for Low-Thermal Budget Process of Nickel Monogermanide/Germanium Contact Formation", Advanced Metallization Conference 2016: 26th Asian Session (ADMETA Plus 2016), Tokyo, Japan, Oct. 19-21, 2016.
  16. A. Suzuki, S. Toda, O. Nakatsuka, M. Sakashita, and S. Zaima, "Impact of  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_y$  interlayer on reduction in Schottky barrier height of metal/n-Ge contact", 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2016), Tsukuba, Japan, Sep. 26-29, 2016.
  17. S. Zaima, O. Nakatsuka, T. Asano, T. Yamaha, S. Ike, A. Suzuki, K. Takahashi, Y. Nagae, M. Kurosawa, W. Takeuchi, Y. Shimura, and M. Sakashita, "Growth and applications of GeSn-related group-IV semiconductor materials", IEEE 2016 Summer Topicals Meeting Series, California, USA, Jul. 11-13, 2016. (招待講演)
  18. A. Suzuki, O. Nakatsuka, M. Sakashita, S. Zaima, "Control of the Fermi level pinning position at metal/Ge interface by using  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  interlayer", 7th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII) and International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM 2016), Nagoya, Japan, Jun. 7-11, 2016.
  19. O. Nakatsuka, Y. Deng, A. Suzuki, M. Sakashita, and S. Zaima, "Schottky Barrier Engineering by Epitaxial Metal Germanide / Germanium Contacts", International Symposium on EcoTopia Science 2015 (ISETS '15), Nagoya, Japan, Nov. 27-29, 2015.
  20. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, W. Takeuchi, M. Kurosawa, and S. Zaima, "Control of Schottky Barrier Height at Metal/Ge Interface by  $\text{Sn}_x\text{Ge}_{1-x}$  Interlayer", International Symposium on EcoTopia Science 2015 (ISETS '15), Nagoya, Japan, Nov. 27-29, 2015.
  21. S. Zaima, O. Nakatsuka, T. Yamaha, T. Asano, S. Ike, A. Suzuki, M. Kurosawa, W. Takeuchi, and M. Sakashita, "Challenges of Energy Band Engineering with New Sn-Related Group IV Semiconductor Materials for Future Integrated Circuits", The 228th Electrochemical Society Meeting, Phoenix, USA, Oct. 11-16, 2015. (招待講演)
  22. S. Zaima, O. Nakatsuka, T. Asano, T. Yamaha, S. Ike, A. Suzuki, M. Kurosawa, W. Takeuchi, and M. Sakashita, "Crystal Growth of GeSn-related Group-IV Thin Films for Integrating on Si Nanoelectronics Platform", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2015), Sapporo, Japan, Sept. 27-30, 2015. (招待講演)
  23. J. Jeon, T. Asano, W. Takeuchi, M. Kurosawa, O. Nakatsuka, and S. Zaima, "Influence of in-situ Sb-Doping on Crystalline and Electrical Characteristics of n-type  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  Epitaxial Layer", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2015), Sapporo, Japan, Sept. 27-30, 2015.
  24. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, W. Takeuchi, M. Kurosawa, and S. Zaima, "Impact of ultra-high Sn content  $\text{Sn}_x\text{Ge}_{1-x}$  interlayer on reducing Schottky barrier height at metal/n-Ge interface", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2015), Sapporo, Japan, Sept. 27-30, 2015.
  25. A. Suzuki, O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, W. Takeuchi, M. Kurosawa, and S. Zaima, "Reduction of Schottky barrier height with Sn/Ge contact", JSPS International Workshop Core-to-Core Program Atomically Controlled Processing for Ultra-large Scale Integration, Marseille, France, July 9-10, 2015.
  26. 鈴木陽洋, 柴山茂久, 坂下満男, 竹内和歌奈, 中塚理, 財満鎮明, "金属/Ge 界面への超高 Sn 組成  $\text{Sn}_x\text{Ge}_{1-x}$  層導入による界面電気伝導特性の制御", 電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会 (SDM), 名古屋, 2015年6月19日. (他12件)
- 〔産業財産権〕  
 ○出願状況 (計1件)  
 名称: 電子素子およびその製造方法  
 発明者: 中塚理, 鈴木陽洋, 戸田祥太, 坂下満男, 財満鎮明  
 権利者: 国立大学法人名古屋大学  
 種類: 特許出願  
 番号: 2016-162977  
 出願年月日: 2016年8月23日  
 国内外の別: 国内
- 〔その他〕  
 ホームページ等  
<http://alice.xtal.nagoya-u.ac.jp/zaimalab/>
6. 研究組織  
 (1) 研究代表者  
 中塚理 (NAKATSUKA, Osamu)  
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 20334998