

平成30年6月21日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05995

研究課題名(和文) Sb系希薄窒化物半導体の物性解明と高輝度遠赤外線発光素子の創製

研究課題名(英文) Elucidation of physical properties of Sb-based dilute nitride semiconductor and creation of high brightness far infrared light emitting element

研究代表者

藤川 紗千恵 (FUJIKAWA, Sachie)

東京電機大学・工学部・助教

研究者番号：90550327

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、III-V半導体の中で最もエネルギーバンドギャップの小さいInSbに窒素を導入したInSbN希薄窒化物半導体を作製するために、有機金属気相成長法を用いて、GaAs(001)基板上InSbN膜を作製した。材料であるアンモニアの流量を変化させることにより、X線回折の2 θ 測定において、スペクトルのシフトを確認し、格子定数が小さくなることを明らかにした。これらの結果等から、InSbN結晶を作製することが可能であることがわかり、アンモニア流量やSb流量の制御によりナローバンドギャップ化を達成できることがわかった。これらのことから、私たちは、遠赤外線デバイスを実現することが示唆できた。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to fabricate an InSbN dilute nitride semiconductor in which nitrogen is introduced into InSb having the smallest energy band gap among III-V semiconductors, InSbN film on a GaAs (001) substrate was fabricated by a metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). By changing the flow rate of ammonia which is a material, we confirmed the shift of the spectrum in the 2 θ measurement of X-ray diffraction and clarified that the lattice constant becomes small. We found that it is possible to fabricate InSbN crystals and it was found that the narrow band gap can be achieved by controlling the flow rate of ammonia. From these results, we could suggest that far infrared devices are realized.

研究分野：結晶工学

キーワード：ナローバンドギャップ 希薄窒化物半導体

1. 研究開始当初の背景

波長 3-15 μm の中赤外線から遠赤外線波長領域は、安全で省エネルギー・安価・長寿命・高効率・小型遠赤外光源が実現すれば、各種物質の吸収領域であるためガス検知、医療(腫瘍の早期発見・治療等)、環境汚染物質除去、化学産業、自動車産業、災害時の人命救助、栽培等、様々な分野での応用が大変期待される。しかし、その領域における波長選択可能・小型・高出力の発光光源が現在存在せず、開発が必要であると考えられる。

III-V族半導体材料では、N 添加したものの特徴として下記の事項が報告されている。N の電気陰性度が他の元素に比べて大きいことに起因して、N を少量添加することでバンドギャップが減少するなど、従来の III-V 族混晶半導体とは大きく異なる物性を持っていることがわかっている。GaInNAs のバンドラインナップの計算によると、窒素を添加することで、格子定数を小さくし、バンドギャップを小さくするとともに、伝導体、価電子帯のエネルギーレベルがともに下がり、ヘテロ接合における伝導体のバンド不連続が極めて大きくなると見積もられるという報告がされている。そうすることで、GaInNAs の場合、GaInAs に N を添加することで GaAs の格子定数に格子整合させることが可能になる。しかし、InSbN 結晶のバンド構造は未だ報告例は少なく、バンド構造等の詳細は明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では III-V 族半導体結晶の中で一番エネルギーバンドギャップが小さい InSb に新たに窒素を導入し InSbN 結晶を作製することで、更なる低エネルギー化を行い InSb 発光層では発光不可能な 5-15 μm の発光を行うことを目的とする。さらに、InSbN 結晶はバンド構造等の報告例はなく、結晶構造が明らかになっていない。本研究では構造設計を考える上でも、希薄窒化物半導体 InSbN 結晶のバンド構造等の解明を第一原理計算により解析を行い、実験との相関性を明らかにすることも目的とする。

3. 研究の方法

有機金属気相成長 (metal organic chemical vapor deposition : MOCVD) 法を用いて、InSbN の作製を行った。材料には、trimethylindium-di-I-propylamine adduct (TMIn-adduct)、trimethyl antimony (TMSb)、ammonia (NH₃) を使用した。試料は、SI-GaAs(001) JUST 基板上に成長した。

まず、結晶成長前の工程として GaAs 基板の基板温度上昇時に H₂、N₂、TMSb(Sb) を各々用いたフローを 10 分間行い、表面状態にどのような影響を与えるのかを調査した。

その後、TMIn と TMSb 同時供給により InSb 薄膜を形成して、NH₃ 流量や TMSb 流量の制御を行い、InSb、InSbN、InN 薄膜を

形成した。各薄膜の特性評価を行った。

4. 研究成果

図 1 は、結晶成長前の GaAs 基板表面(a)と GaAs 基板を 600 $^{\circ}\text{C}$ で 10 分間 H₂ フロー(b)、N₂ フロー(c)、Sb フロー(d)した後のノマルスキー型微分干渉顕微鏡で観察した GaAs 基板表面写真を示す。H₂ フローと N₂ フローではほとんど差がなく、Sb フローでは表面に凹凸が多数確認された。

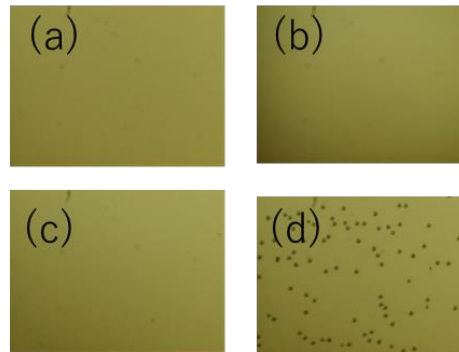


図 1、ノマルスキー型微分干渉顕微鏡観察写真
(a)GaAs 基板、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、
(d)Sb フロー

図 2 は、AFM 測定により観測した(a)GaAs 基板、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、(d)Sb フロー後の表面像を示す。走査範囲は、500nm \times 500nm で行った。AFM 像より、H₂ を用いた場合に RMS(自乗平均粗さ)が一番小さいことがわかり、Sb フローでは、RMS 値が 2 倍程悪化したことが観測された。さらに、走査範囲 20 $\mu\text{m}\times$ 20 μm で測定した Sb を用いた表面の RMS については、大きな凹凸が見られた。

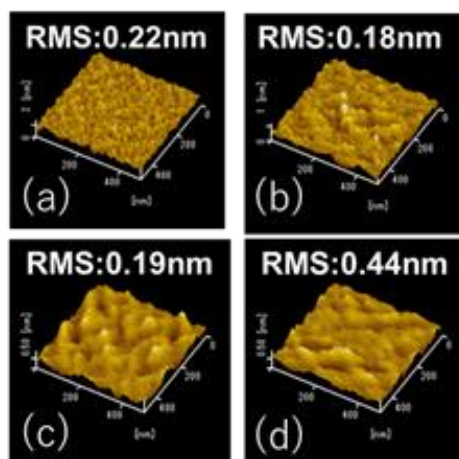


図 2、AFM で観測した表面像
(a)GaAs 基板、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、
(d)Sb フロー

次に、各々のフロー条件上に H₂、N₂、Sb フローによる InSb 薄膜の成長を行った。図 3 は、各フロー条件における AFM で観察され

た InSb 薄膜表面像を示す。図 3 より、H₂ と N₂ フローを行った表面にはほとんど凹凸が確認できないのに対し、Sb フローで成長した InSb 表面には明らかな凹凸が確認された。

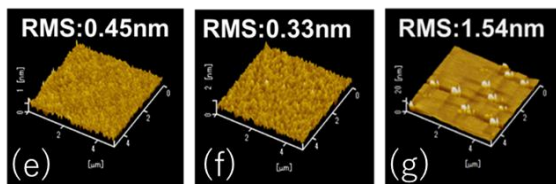


図 3、AFM で観察した InSb 表面像
(e)H₂ フロー、(f)N₂ フロー、(g)Sb フロー

図 4 は、Sb 脱離で成長を行った GaAs 基板上 InSb 薄膜の XRD 測定の(004)2θ-ω スキャンによるスペクトルを示す。図 4 より、結晶ピークは 57.0°であり、InSb の結晶ピークの文献値である 56.7°付近にピークが観察された。

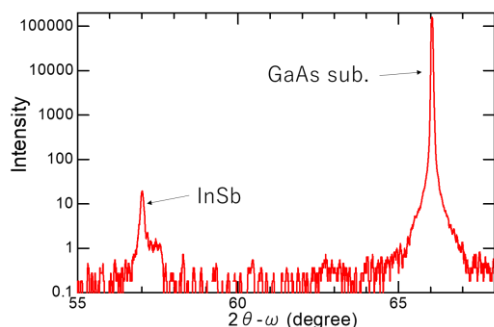


図 4、GaAs 基板上 InSb 薄膜の XRD 測定の(002)2θ-ω スキャンによるスペクトル

次に、InSb 薄膜に NH₃ を導入して InSbN 薄膜の作製を行い、NH₃ 流量、TMSb 流量を変化させて試料の各特性の評価を行った。

図 5 は、GaAs 基板上 InSb 及び InSbN 薄膜の XRD 測定の(004)2θ-ω スキャンによるスペクトルを示す。TMIn と TMSb と同時供給した NH₃ 流量を変化させた。InSb 薄膜に NH₃ を導入させた試料において、スペクトルのシフトが確認できた。InSbN のピークが InSb のピークから GaAs 側にシフトしており、窒素が導入されていることが確認できるとともに、格子定数が小さくなっていることが確認できた。このことから、他の材料の希薄窒化物半導体の文献より、結晶内に窒素が導入されてボーイング効果が発生し、結晶のバンドギャップが狭まっていると考えられる。

さらに、NH₃ の流量依存性を行った実験において、25,100,500sccm の時では結晶ピークが観察されたが、NH₃ の流量が 2SLM 以上になると結晶ピークが観察されなくなることもわかった。次に、TMIn と NH₃ 流量と成長温度を固定して、InN 薄膜及び TMSb 流量を減量させて InSbN 薄膜の作製を行った。図 6 は、GaAs 基板上 InN 及び InSbN 薄膜の XRD 測定の(004)2θ-ω スキャンによるロッキ

ングカーブを示す。InN のピークは、61.9 degree であった。InSbN のピークは、57.1 degree であった。TMSb を制御することにより、InSbN 薄膜の作製に成功した。

以上の結果より、予想外にトラブルが多発したため、多層化まで至らなかったが、InSbN 薄膜が作製可能であることが明らかとなり、中赤外から遠赤外線発光が可能であることが示唆できた。InSbN 薄膜による発光確認や第一原理計算による物性解析確認も引き続き遂行する。

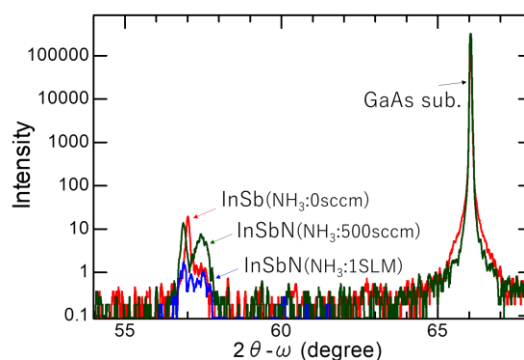


図 5、GaAs 基板上 InSb 及び InSbN 薄膜の XRD 測定の(002)2θ-ω スキャンによるスペクトル

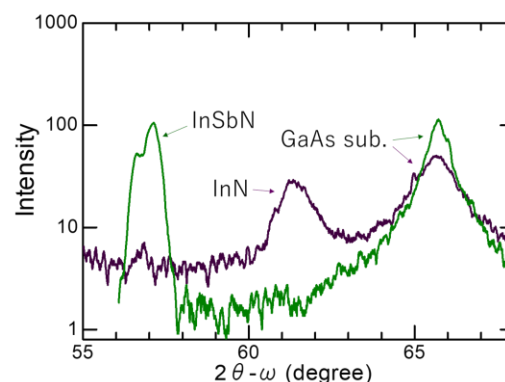


図 6、GaAs 基板上 InN 及び InSbN 薄膜の XRD 測定の(002)2θ-ω スキャンによるロッキ

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 8 件)

- ①. Takahiro Gotow, Sachie Fujikawa, Hiroki I. Fujishiro, Mutsuo Ogura, Wen Hsin Chang, Tetsuji Yasuda, and Tatsuro Maeda, "Surface cleaning and pure nitridation of GaSb by in-situ plasma processing", AIP Advances 7, 105117 (2017.10).
- ②. 藤代博記、磯野恭佑、原田義彬、岡直希、竹内淳、藤川紗千恵、町田龍人、渡邊一世、山下良美、遠藤聡、原紳介、笠松章史、「アンチモン系トランジスタの開発」、信学技報 (IEICE Technical Report), vol. 117, no. 364, ED2017-81, pp. 33-36, 2017

年 12 月.

- ③. Takuto Takahashi, Shota Hatsushiba, Sachie Fujikawa, and Hiroki I. Fujishiro, “Comparative Study on Noise Characteristics of As and Sb-based High Electron Mobility Transistors”, *physica status solidi (a)*, 214, 3, 1600599 (2017.3).
- ④. Ryuto Machida, Ryusuke Toda, Sachie Fujikawa, Shinsuke Hara, Issei Watanabe, Hiroki I. Fujishiro, “Effect of low-temperature-grown GaSb layer on formation of high-density and small GaSb islands on Si (100) substrate”, *PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC SOLID STATE PHYSICS*, 253,4,648-653 (2016.4).
- ⑤. Ryuto Machida, Ryusuke Toda, Sachie Fujikawa, Shinsuke Hara, Issei Watanabe, Hiroki I. Fujishiro, “Effects of Ga-induced Reconstructed Surfaces and Atomic Steps on the Morphology of GaSb Islands on Si (100)”, *APPLIED SURFACE SCIENCE*, 351,686-692 (2015.10).
- ⑥. 竹鶴達哉, 藤川紗千恵, 原田義彬, 鈴木浩基, 磯野恭佑, 加藤三三四郎, 辻 大介, 藤代博記, “AllInSb ステップバッファ層を用いた InSb 量子井戸歪緩和構造の電子輸送特性”, 信学技報(IEICE Technical Report), Vol.115, No.156, pp.45-49, 2015 年 7 月.
- ⑦. S. Fujikawa, T. Taketsuru, D. Tsuji, T. Maeda, H.I. Fujishiro, “Improved electron transport properties of InSb quantum well structure using stepped buffer layer for strain reduction”, *JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH*, Volume 425, 1 September 2015, Pages 64–69, February (2015).
- ⑧. Hideki Hirayama, Sachie Fujikawa, and Norihiko Kamata, *Electronics and Communications in Japan [1942-9533]*, “Recent Progress in AlGaIn-Based Deep-UV LEDs”, Vol. 98, No. 5 pp.1-8 (2015.5).

[学会発表] (計 35 件)

- ① [招待講演] 藤代博記、磯野恭佑、原田義彬、岡直希、竹内淳、藤川紗千恵、町田龍人、渡邊一世、山下良美、遠藤聡、原紳介、笠松章史、「アンチモン系トランジスタの開発」、(10)、電子デバイス研究会(ED)、東北大通研ナノ・スピン棟、2017 年 12 月 19 日.
- ② 石黒 稔也、藤川 紗千恵、王 科、前田 哲利、町田 龍人、藤代 博記、平山 秀樹、” Si 基板上への GaN 系 THz-QCL 構造の MOCVD 成長と評価 “、8p-A301-8、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017 年 9 月 8 日.
- ③ 町田 龍人、赤羽 浩一、渡邊 一世、原 紳介、藤川 紗千恵、笠松 章史、藤代 博

記、“GaSb 薄膜 / ドット核形成層を用いた Si(100)基板上の GaSb/AlGaSb MQW 構造の作製”、6p-PA7-8、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017 年 9 月 6 日.

- ④ 伊藤 峰水, 鈴木 浩基, 渡邊 優介, 藤川 紗千恵, 町田 龍人, 藤代 博記, “GaAs(100)基板上へテロエピタキシャル GaSb 薄膜成長の界面制御“、6p-PA7-9、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017 年 9 月 6 日.
- ⑤ 渡邊 優介, 椎野 響太, 伊藤 峰水, 鈴木 浩基, 藤川 紗千恵, 町田 龍人, 藤代 博記, ” 低温成長 InSb が GaAs 基板上 InSb 薄膜成長に与える影響 “、6p-PA7-11、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017 年 9 月 6 日.
- ⑥ S. Fujikawa, T. Iwaki, Y. Harada, J.Takeuchi, Y.Endoh, I. Watanabe, Y. Yamashita, A. Endoh, S. Hara, and A. Kasamatsu, H.I. Fujishiro, “Electron Transport Properties of InSb/Ga_{0.35}In_{0.65}Sb Composite Channel Structure”, *Compound Semiconductor Week 2017 (CSW2017)*, ISCS 2017 The 44th Symposium on Compound Semiconductor, P2.53, Belrin,Germany,16 May (2017) , 14-18 May (2017).
- ⑦ R. Machida, K. Akahane, I. Watanabe, S. Hara, S. Fujikawa, A. Kasamatsu, and H.I. Fujishiro, “Fabrication of GaSb/AlGaSb Multi Quantum Wells Structure Grown on Si(100) Substrate Using Heteroepitaxial GaSb Thin-film and Dots Nucleation Layers”, *IPRM 2017 on Indium Phosphide and Related Materials*, P2.59, Belrin,Germany,16 May (2017).
- ⑧ Yui Fujisawa, Takuto Takahashi, Shougo Kawamura, Sachie Fujikawa and Hiroki Fujishiro, “Monte Carlo Study on Electron Transport Properties of GaIn_{1-x}Sb HEMT Structures Considering Roughness Scattering”, *Compound Semiconductor Week 2017 (CSW2017)*, ISCS2017 The 44th Symposium on Compound Semiconductor, P2.39, Berlin, Germany,16 May (2017).
- ⑨ 岩木拓也、原田義彬、竹内淳、遠藤勇輝、藤川 紗千恵、藤代博記、“InSb/Ga_{0.35}In_{0.65}Sb 複合チャネル構造の電気的特性の評価”、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、16a-P4-27、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 16 日.
- ⑩ 中島 佑太、藤川 紗千恵、藤代 博記、服部 淳一、福田 浩一、内田 紀行、前田 辰、” Ge 基板上の基板の Al₂O₃ 膜の構造変化と熱輸送特性 膜の構造変化と熱輸送特性膜 “、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、16p-412-16、パシフィコ横浜、2017 年 3 月.
- ⑪ I. Watanabe, Y. Yamashita, A. Endoh, S. Hara, A. Kasamatsu, I. Hosako,H. Hamada,

- T. Kosugi, M. Yaita, A. E. Moutaouakil, H. Matsuzaki, O. Kagami, T. Takahashi, Y. Kawano, Y. Nakasha, N. Hara, D. Tsuji, K. Isono, S. Fujikawa, and H. I. Fujishiro, "Research and development of InP, GaN and InSb-based HEMTs and MMICs for terahertz-wave wireless communications", 2016 IEEE Compound Semiconductor IC Symposium, 23-26 October (2016).
- ⑫ Masahiro Takahashi, Toshifumi Irisawa, Wen-Hsin Chang, Junji Tominaga, Sachie Fujikawa, Hiroki I. Fujishiro, and Tatsuro Maeda, "Poly-InSb nMOSFETs for monolithic 3DIC", Solid State Devices and Materials (SSDM2016), 25-29 September (2016).
- ⑬ S. Fujikawa, J. Takeuchi, Y. Harada, and H. I. Fujishiro, "Electron Transport Properties of InSb/GaInSb Composite Channel", 19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2016), 4-9 September (2016).
- ⑭ S. Fujikawa, K. Isono, Y. Harada, I. Watanabe, Y. Yamashita, A. Endoh, S. Hara, A. Kasamatsu, and H. I. Fujishiro, "InSb-based HEMT with Over 300 GHz- fT using $Al_{0.25}In_{0.75}Sb/Al_{0.15}In_{0.85}Sb$ stepped buffer layer for strain reduction", 19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2016), 4-9 September (2016).
- ⑮ S. Fujikawa, K. Isono, Y. Harada, I. Watanabe, Y. Yamashita, A. Endoh, S. Hara, A. Kasamatsu, and H. I. Fujishiro, "InSb HEMT with over 300 GHz- fT using stepped buffer layer for strain reduction", 35rd Electronic Materials Symposium (EMS35), Laforet Biwako, Shiga, 6-8 July (2016).
- ⑯ J. Takeuchi, S. Fujikawa, Y. Harada and H. I. Fujishiro, "Electron transport properties of novel InSb/GaInSb composite channel high electron mobility transistor structures", 35rd Electronic Materials Symposium (EMS35), Laforet Biwako, Shiga, 6-8 July (2016).
- ⑰ K. Isono, D. Tsuji, T. Taketsuru, S. Fujikawa, I. Watanabe, Y. Yamashita, A. Endoh, S. Hara, A. Kasamatsu, and H. I. Fujishiro, "InSb-based HEMT with Over 300 GHz- fT using Evaporated SiO_x Film", The International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) 2016, Toyama Japan, 26-30 June (2016).
- ⑱ Takuto Takahashi, Shota Hatsushiba, Sachie Fujikawa, Hiroki I. Fujishiro, "Comparative Study on Noise Characteristics of As and Sb-based HEMTs", The International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) 2016, Toyama Japan, 26-30 June (2016).
- ⑲ Ryuto Machida, Ryusuke Toda, Sachie Fujikawa, Shinsuke, Hara, Issei Watanabe, Kouichi Akahane, Akifumi Kasamatsu, Hiroki I. Fujishiro, "Growth of GaSb Dots Nucleation Layer and Thin -Film GaSb on Si(100) Substrate by Molecular Beam Epitaxy", The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) 2016, 26-30 June (2016).
- ⑳ 加藤 三四郎、宮下 愛理、藤川 紗千恵、藤代 博記, "SLS 回数と成長温度の最適化による InSb-HEMT 構造の電気的特性向上", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-P9-15 SLS, 東工大, 2016 年 3 月 20 日
- ㉑ 高橋 正紘、藤川 紗千恵、藤代 博記、入沢 寿史、富永 淳二、前田 辰郎, "3 次元 IC に向けた多結晶 InSb MOSFET の電気特性評価", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-S422-3、東工大, 2016 年 3 月 20 日
- ㉒ 辻 大介、磯野 恭佑、竹鶴 達哉、藤川 紗千恵、渡邊 一世、山下 良美、遠藤 聡、原 紳介、笠松 章史、藤代 博記, "蒸着 SiO_x 膜を用いた $fT=300GHz$ 超 InSb-HEMT の作製", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 22p-W541-2、東工大, 2016 年 3 月 22 日
- ㉓ 原田 義彬、岡 直希、藤川 紗千恵、藤代 博記, "In $_{1-x}$ Ga $_x$ Sb 量子井戸構造の電気的特性の評価", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-P16-3、東工大, 2016 年 3 月 20 日
- ㉔ 町田 龍人、戸田 隆介、藤川 紗千恵、原 紳介、渡邊 一世、赤羽 浩一、笠松 章史、藤代 博記, "高密度 4GaSb ドットを用いた Si(100) 基板上の GaSb 薄膜成長", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-P16-4、東工大, 2016 年 3 月 20 日
- ㉕ S. Fujikawa, H. Suzuki, H. I. Fujishiro, "DEPENDENCE OF InSb/GaSb FILMS GROWN ON FLAT AND VICINAL GaAs (100) SUBSTRATES", 31st NORTH AMERICAN MOLECULAR BEAM EPITAXY CONFERENCE (31th NAMBE), MAYAN RIVIERA, MEXICO, 4-7 October (2015)
- ㉖ 鈴木 浩基、藤川 紗千恵、藤代 博記, "GaAs(100)基板上の InSb/GaSb 結晶のオフ角依存性", 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 2015 年 9 月 13 日
- ㉗ 緒方 悟公、町田 龍人、石井 達也、藤川 紗千恵、原 紳介、色川 勝己、三木 裕文、河津 璋、藤代 博記, "Al/Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 表面再構成構造上 GaSb 初期成長過程の温度依存性", 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 2015 年 9 月 14 日
- ㉘ 高橋 正紘、藤川 紗千恵、藤代 博記、

入沢 寿史、富永 淳二、前田 辰郎，“3次元 ICに向けた多結晶 InSb 薄膜の電気特性評価”，第 76 回応用物理学会秋季学術講演会，名古屋国際会議場，名古屋市，2015 年 9 月 15 日

- ②⑨ 原 紳介、渡邊 一世、竹鶴 達哉、辻 大介、藤川 紗千恵、藤代 博記、赤羽 浩一、笠松 章史，“InGaSb ヘテロエピタキシャル薄膜の膜質評価”，第 76 回応用物理学会秋季学術講演会，名古屋国際会議場，名古屋市，2015 年 9 月 13 日
- ③⑩ 高橋 択斗、初芝 正太、藤川 紗千恵、藤代 博記，“ナノスケール III - V HEMT の雑音解析”，第 76 回応用物理学会秋季学術講演会，名古屋国際会議場，名古屋市，2015 年 9 月 16 日
- ③⑪ 竹鶴達哉，藤川紗千恵，原田義彬，鈴木浩基，磯野恭佑，加藤三四郎，辻 大介，藤代博記，“AllInSb ステップバッファ層を用いた InSb 量子井戸歪緩和構造の電子輸送特性”，電子デバイス研究会，金沢市，2015 年 7 月 25 日
- ③⑫ Y. Harada, K. Isono, T. Taketsuru, H. Suzuki, S. Katou, D. Tsuji, S. Fujikawa and H. I. Fujishiro, “Electron transport properties of InGaSb quantum well structure”, 34rd Electronic Materials Symposium (EMS34), Laforet Biwako, Shiga, 17 July (2015)
- ③⑬ R. Machida, R. Toda, S. Fujikawa, S. Hara and H. I. Fujishiro, “Formation of GaSb islands on Si(100) with low-temperature grown GaSb layer”, 34rd Electronic Materials Symposium (EMS34), Laforet Biwako, Shiga, 16 July (2015)
- ③⑭ Ryuto Machida, Ryusuke Toda, Sachie Fujikawa, Shinsuke Hara, Hiroki Fujishiro, “Growth of GaSb Islands on Si(100) with Low-temperature Grown GaSb Layer”, Compound Semiconductor Week 2015 (CSW 2015), Santa Barbara, California, 2 July (2015)
- ③⑮ Shota Hatsushiba, Sachie Fujikawa and Hiroki Fujishiro, “Study on Impacts of Dislocation and Roughness Scatterings on Electron Transport in InSb QW Comparing Monte Carlo Simulation and Measurements”, Compound Semiconductor Week 2015, Santa Barbara, California, 2 July (2015)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤川 紗千恵 (FUJIKAWA, Sachie)

東京電機大学・工学部・助教

研究者番号：90550327