

令和元年6月23日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06316

研究課題名(和文) テラヘルツ領域極限性能トランジスタの開発

研究課題名(英文) Development of Ultra-High Performance Sb-Based Terahertz Transistors

研究代表者

藤代 博記 (Fujishiro, Hiroki)

東京理科大学・基礎工学部電子応用工学科・教授

研究者番号：60339132

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：電子有効質量 m_e^* の最適設計により、界面ラフネス散乱の影響を抑えながら高い電子移動度 μ_e と高い電子濃度 N_s を同時に実現するGaInSb量子井戸QWチャネルを作製し、HEMTを試作した。歪ステップバッファの導入により高い μ_e を維持しながら N_s を高めることに成功し、Ga_{0.22}In_{0.78}Sb QWにおいて $\mu_e = 15,500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、 $N_s = 2.05 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の特性を得た。Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMTを作製し、 $f_T = 214 \text{ GHz}$ を得た($L_g = 40 \text{ nm}$)。これはGaInSbを用いたトランジスタで報告されている最も高い値であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テラヘルツ領域は未踏センシング、次世代通信、極限コンピューティングなどの帯域として工業・情報通信・医療・バイオ・農業・セキュリティなど様々な応用が見込まれている。本研究はテラヘルツ領域での共通の基盤技術の一つとして、テラヘルツ領域で動作するトランジスタの開発を目的とした。本研究で考案した歪ステップバッファは、Sb系QWの高い μ_e を維持しながら N_s を増加できる画期的な方法であり、試作したHEMTで214 GHzを得た。この成果は様々なテラヘルツ応用の発展に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have fabricated the HEMT using the GaInSb quantum well QW channel, in which the electron effective mass m_e^* has been chosen so as to get the larger electron density N_s and the higher electron mobility μ_e simultaneously under the roughness scattering. The stepped buffer has allowed to increase N_s keeping μ_e high. Consequently the Ga_{0.22}In_{0.78}Sb QW has showed $\mu_e = 15,500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and $N_s = 2.05 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. The Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT has been fabricated. The maximum f_T has been 214 GHz ($L_g = 40 \text{ nm}$), which has been the highest value ever reported for the GaInSb transistors.

研究分野：ナノ電子・光デバイス

キーワード：テラヘルツ領域 高電子移動度トランジスタ HEMT InGaSb 電子有効質量 格子歪 電子移動度 遮断周波数

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光と電磁波の境界であるテラヘルツ領域(30 GHz~3 THz)は、未踏センシング、次世代通信、極限コンピューティングなどの帯域として、フォトニクス、電磁波、エレクトロニクスの分野から研究が進められ、工業・情報通信・医療・バイオ・農業・セキュリティなど様々な応用が見込まれていた。エレクトロニクス分野では、テラヘルツ領域での共通の基盤技術の一つとして、テラヘルツ領域で動作する極限性能のトランジスタの開発が進められていた。その目標性能は遮断周波数 f_T が 1 THz を超えることであった。研究代表者らは量子補正モンテカルロ QC-MC 法を用いた f_T の解析により、InSb 量子井戸 QW チャンネルを用いて有効質量 m_e^* を InAs よりも減少させれば、電子移動度 μ_e とチャンネル電子速度 v_e の増加、および低電圧駆動による実効ゲート長 L_g の短縮により、真性 f_T が向上することを示した。一方、 m_e^* の減少は電子状態密度と電子濃度 N_s を減少させ、電流駆動能力の低下をもたらすと共に、量子効果を強く発現させて、1 原子層程度の界面ラフネスでも μ_e と v_e を大きく低下させてしまうことを明らかにした。したがって実デバイスにおいて f_T を向上させるには、 m_e^* を最適設計し、界面ラフネス散乱の影響を抑えながら高い μ_e と高い N_s を同時に得る必要があった。

2. 研究の目的

本研究課題は、以上の背景を踏まえ、InSb と GaSb の混晶である InGaSb を QW チャンネルに用いることを着想し、(1) バンド計算と QC-MC 法による計算および実験との比較により、界面ラフネス散乱の影響を抑えながら高い μ_e と高い N_s が同時に得られる InGaSb QW の材料・構造を明らかにする。(2) MBE 法による高品質な InGaSb QW のエピ成長技術を確立する。(3) ゲート長 $L_g =$ 数 10 nm の InGaSb HEMT を試作し、テラヘルツ領域での動作検証を行う。以上により、工業・情報通信・医療・バイオ・農業・セキュリティなどの様々な応用が見込まれるテラヘルツ領域での共通の基盤技術を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 界面ラフネス散乱を導入した QC-MC シミュレータにより InGaSb QW の電気的特性を計算し、実験と比較しながら、現実的な界面ラフネス散乱の影響下で、高い μ_e と高い N_s を同時に得るための InGaSb QW の材料と構造を設計する。また f_T を試算する。さらに QC-MC シミュレータにより雑音特性を解析し、Sb 系 HEMT の低雑音デバイスとしての性能を評価する。
 (2) MBE 法により、半絶縁性 GaAs 基板上に AlInSb バッファ層、InGaSb チャンネル層、AlInSb バリア層(Te ドナー層)を順にエピ成長して QW を形成し、 μ_e と N_s を評価する。AlInSb バッファ層には Al 組成比を連続的に変化させるグレーデッド構造や超格子の導入を検討し、貫通転位の発生・伝搬の抑制と界面平坦性の向上を図る。さらにステップバッファ層を用いた歪み制御により、高い μ_e を保ちながら、 N_s をさらに増加させることを検討する。
 (3) エピ成長したウエハを用いて、数 10 nm レベルの L_g の InGaSb HEMT を試作し、DC 特性と f_T 等の RF 特性を評価する。

4. 研究成果

(1) Sb 系 HEMT の雑音特性の理論的解析

InSb の小さい m_e^* は低いドレイン電圧 V_{ds} で高い f_T を得るのに有利であることを示してきたが、小さい m_e^* の雑音特性への影響は明らかでない。そこで QC-MC シミュレータを用いて $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ HEMT (a), InAs/AlSb HEMT (b), $\text{InSb}/\text{In}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{Sb}$ HEMT (c) の雑音特性の比較を行った。解析の結果、 V_{ds} が増加すると電子温度 T_{el} の上昇による速度ばらつき v^2 の増加により、ドレイン電流のばらつき $\langle I_{ds}^2 \rangle$ が増加した。 $\text{InSb}/\text{In}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{Sb}$ HEMT は m_e^* が小さいために v^2 が大きく、 $\langle I_{ds}^2 \rangle$ が大きくなった。一方、低い V_{ds} で動作するために、 T_{el} の上昇による v^2 の増加は抑えられた。図 1 に 100 GHz における最小雑音指数 NF_{min} と付随利得 G_{ass} の I_{ds} 依存性を示す。 $\text{InSb}/\text{In}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{Sb}$ HEMT は、 $\langle I_{ds}^2 \rangle$ が大きいにもかかわらず、 $V_{ds} = 0.2$ V で最も小さい NF_{min} を示した。この結果は、高い μ_e と高い v_e により得られる低 V_{ds} での高い相互コンダクタンス g_m が、小さい m_e^* に付随する大きい v^2 を凌駕することを示している。

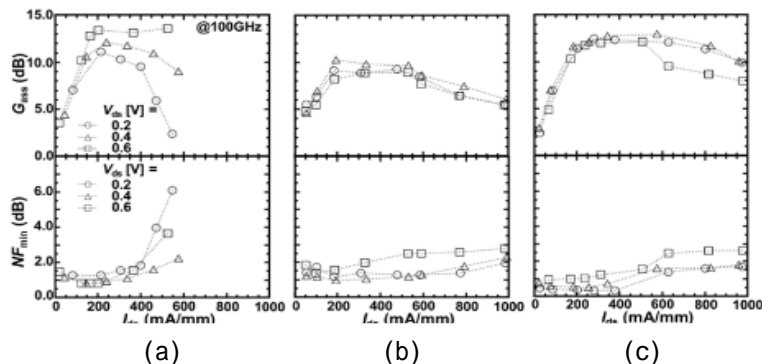


図 1 (a) $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ HEMT、(b) InAs/AlSb HEMT、(c) $\text{InSb}/\text{In}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{Sb}$ HEMT の 100 GHz における最小雑音指数 NF_{min} と付随利得 G_{ass} のドレイン電流 I_{ds} 依存性

(2) Ga_{1-x}In_xSb HEMT の電気的特性の理論的解析

QC-MC シミュレータを用いて、InSb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb HEMT (HEMT A)、Ga_{0.2}In_{0.8}Sb/Al_{0.45}In_{0.55}Sb HEMT (HEMT B)、および Ga_{0.4}In_{0.6}Sb/Al_{0.45}In_{0.55}Sb HEMT (HEMT C) の界面ラフネス散乱下における μ_e と N_s の解析を行った。図 2 に、3 つの構造の HEMT の m_e^* を示す。また図 3 に、理想界面とラフネス界面 (界面粗さ = 1.2 nm、相関長 = 10 nm) における μ_e と N_s の QW 幅 L_w 依存性を示す。

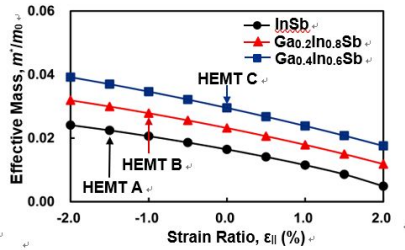


図 2 InSb、Ga_{0.2}In_{0.8}Sb、Ga_{0.4}In_{0.6}Sb の m_e^* の歪み率 $\epsilon_{||}$ 依存性。HEMT A、B、C の m_e^* を矢印で示す

理想界面の μ_e は m_e^* に反比例して HEMT A が最も高く、HEMT B、C の順に低下した。しかしながらラフネス界面では、量子効果が強く発現するために、HEMT A の μ_e の大幅な低下が見られた。一方、 N_s は m_e^* に比例して HEMT C が最も高く、HEMT B、A の順に低下した。 L_w が狭まると、量子効果が強まるために、 μ_e と N_s が低下したが、HEMT A ではこれらが最も激しく起こった。そのため L_w を 12 nm まで狭めると、 $\mu_e \times N_s$ 積は HEMT C が最も大きくなり、HEMT B、A の順に低下した。この結果は、現実的なラフネス散乱下において、 L_w を狭めてゲート・チャネル間距離を縮めるには、 m_e^* を InSb よりも大きく設計した方がよいことを示唆している。

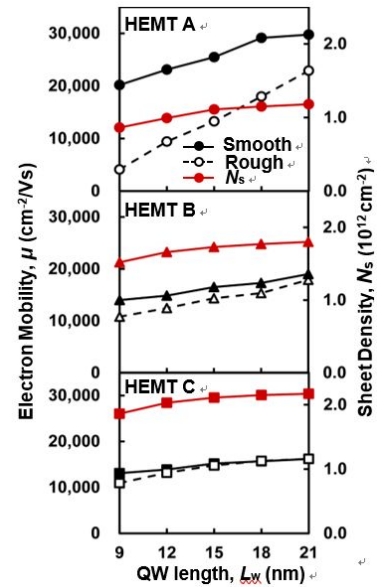


図 3 理想界面とラフネス界面 (界面粗さ = 1.2 nm、相関長 = 10 nm) における μ_e と N_s の QW 幅 L_w 依存性

(3) Ga_{1-x}In_xSb QW の電気的特性の評価

MBE 法により、InSb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb QW (QW A)、Ga_{0.22}In_{0.78}Sb/Al_{0.40}In_{0.60}Sb QW (QW B) を作製して、電気的特性を評価した。図 4 にそれぞれの層構造を示す。ここでは Al 組成比の低い AlInSb バッファの上に Al 組成比の高い AlInSb バッファを歪成長させる歪ステップバッファ層を用い、QW A では InSb チャネルに加わる圧縮歪みを低減し、QW B では Ga_{1-x}In_xSb チャネルの In 組成比 x を高めた。また QW A ではバッファ層に超格子構造 (SLs) を導入した。QW 幅 d_c は 10、15、20 nm、スペーサ層厚 d_s は 3、5 nm と変化させた。これらの μ_e と N_s をホール測定により評価した。

図 5 に、 μ_e の N_s 依存性と、シート抵抗値 R_s を示す。 μ_e と N_s は d_c が減少すると低下した。 μ_e と N_s の低下はそれぞれ界面ラフネス散乱の増加と、QW 内の基底準位の上昇によるものであり、量子効果の発現の強弱に依存する。したがって m_e^* の大きい QW B ではその程度が低減されている。これは QC-MC シミュレーションによる解析の結果と一致している。一方、 d_s の減少は μ_e の低下と N_s の増加をもたらした。 μ_e の低下はリモートクーロン散乱の増加によるものである。そのため N_s の大きい QW B では、遮蔽効果により、その程度が小さくなっている。QW B は大きい m_e^* により μ_e が低いが、電子状態密度が大きく、また QW の深さ E_c が大きい。そのため、結果として QW A よりも低い R_s が得られた。今回作製した QW B には SLs が導入されていないため、 μ_e はさらに向上するものと期待される。

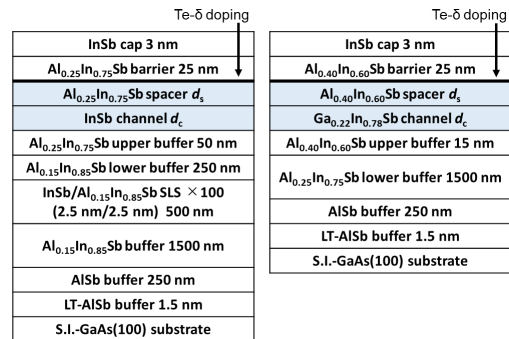


図 4 (a) InSb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb QW (QW A)、(b) Ga_{0.22}In_{0.78}Sb/Al_{0.40}In_{0.60}Sb QW (QW B) の層構造

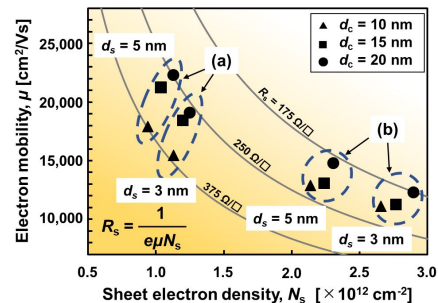


図 5 μ_e の N_s 依存性。シート抵抗 R_s も併せて示す。

(4) 歪ステップバッファ層による Ga_{1-x}In_xSb QW の電気的特性の向上

歪ステップバッファ層の導入による Ga_{1-x}In_xSb QW の μ_e の向上を試みた。歪ステップバッファ層は Al 組成比 y の小さい Al_yIn_{1-y}Sb 上に Al 組成比 z の大きい Al_zIn_{1-z}Sb を歪成長させるもので、QW の E_c と独立に、Ga_{1-x}In_xSb QW の In 組成比 x を増やすことができる。ここでは、(a) メタモルフィック Al_{0.40}In_{0.60}Sb バッファ上の Ga_{0.35}In_{0.65}Sb QW (QW A)、(b) 歪

Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{0.30}In_{0.70}Sb ステップバッファ上の Ga_{0.27}In_{0.73}Sb QW (QW B)、および (c) 歪 Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb ステップバッファ上の Ga_{0.22}In_{0.78}Sb QW (QW C) を作製して、これらの電気的特性を評価した。図 6 に、層構造を示す。また図 7 に、 m_e^* を示す。QW A、B、C は、バッファ層と格子整合する Ga_{1-x}In_xSb QW の x が 0.65、0.73、0.78 と変化しており、これに伴って m_e^* が減少している。

図 8 に、QW A、B、C の μ_e と N_s を示す。 x の増加による m_e^* の減少により、 μ_e が増加する様子が見られる。一方、 N_s はほぼ一定の値を示している。これは、 x の増加による E_c の増加が、 m_e^* の減少による DOS の減少を補償するためである。InSb QW (歪ステップバッファ層により InSb への圧縮歪みを低減して m_e^* の増加を抑えた [1,2]) と比較すると、 μ_e は 87% に減少し、 N_s は 193% に増加した。結果として R_s は 59% まで低減した。

(a)		(b)		(c)	
InSb cap	3 nm	InSb cap	3 nm	InSb cap	3 nm
Al _{0.40} In _{0.60} Sb barrier	25 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb barrier	25 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb barrier	25 nm
Te-δ doped		Te-δ doped		Te-δ doped	
Al _{0.40} In _{0.60} Sb spacer	5 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb spacer	5 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb spacer	5 nm
Ga _{0.27} In _{0.73} Sb channel	20 nm	Ga _{0.27} In _{0.73} Sb channel	20 nm	Ga _{0.22} In _{0.78} Sb channel	20 nm
Al _{0.40} In _{0.60} Sb upper buffer	15 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb upper buffer	15 nm	Al _{0.40} In _{0.60} Sb upper buffer	15 nm
Al _{0.40} In _{0.60} Sb buffer	1.5 μm	Al _{0.30} In _{0.70} Sb lower buffer	1.5 μm	Al _{0.25} In _{0.75} Sb lower buffer	1.5 μm
AlSb buffer	250 nm	AlSb buffer	250 nm	AlSb buffer	250 nm
LT-AlSb	1.5 nm	LT-AlSb	1.5 nm	LT-AlSb	1.5 nm
GaAs		GaAs		GaAs	
Si-GaAs(100) substrate		Si-GaAs(100) substrate		Si-GaAs(100) substrate	

図 6 Ga_{1-x}In_xSb QW の層構造。(a) メタモルフィック Al_{0.40}In_{0.60}Sb バッファ上 Ga_{0.35}In_{0.65}Sb QW (QW A)、(b) 歪 Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{0.30}In_{0.70}Sb ステップバッファ上 Ga_{0.27}In_{0.73}Sb QW (QW B)、(c) 歪 Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb ステップバッファ上 Ga_{0.22}In_{0.78}Sb QW (QW C)

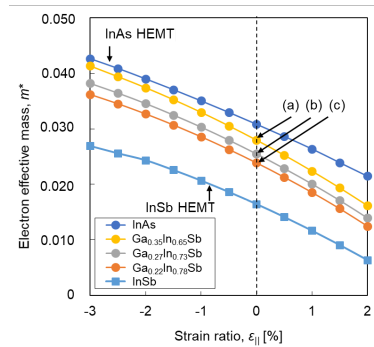


図 7 QW A、B、C の m_e^*

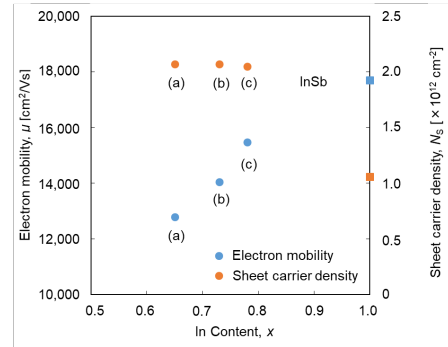


図 8 QW A、B、C の μ_e と N_s

(5) Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT の作製と評価

歪 Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{0.25}In_{0.75}Sb ステップバッファ上の Ga_{0.22}In_{0.78}Sb QW (QW 幅 20 nm) をチャンネルとする HEMT を作製し、DC・RF 特性を評価した。ウエハの μ_e は 12,800 cm²/Vs、 N_s は 2.20×10^{12} cm⁻² であった。メサエッチング後、Ti/Pt/Au ノンアロイオーミック電極を形成し、3 層レジスト (ZEP/PMGI/ZEP) を用いた EB 露光プロセスにより、T 型の Ti/Pt/Au ショットキーゲート電極を形成した。 L_g は 30 ~ 200 nm まで変化させた。ゲート幅 W_g は $50 \mu\text{m} \times 2$ とした。

図 9 に Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT の $I_{ds} - V_{ds}$ 特性 ($L_g = 40$ nm) を示す。また図 10 に Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT の f_T と最大 g_m 、 $g_{m,max}$ の L_g 依存性を示す。 f_T は $|h_{21}|^2$ を -20 dB/decade で外挿することにより求めた。またパット寄生容量を差し引いた。 f_T の最大値は 214 GHz、 $g_{m,max}$ は 0.640 S/mm であった ($L_g = 40$ nm、 $V_{ds} = 0.5$ V、 $V_{gs} = -0.07$ V)。この f_T は、GaInSb をチャンネルとする FET で報告されている最も高い値である。図 10 に見られるように、 $g_{m,max}$ は $L_g = 200$ nm で最大値を示しており、短チャンネル効果が生じていることがわかる。したがって、QW 幅とスペーサ層厚の減少を含めたゲート・チャンネル間距離の短縮により、さらなる特性の向上が期待できる。

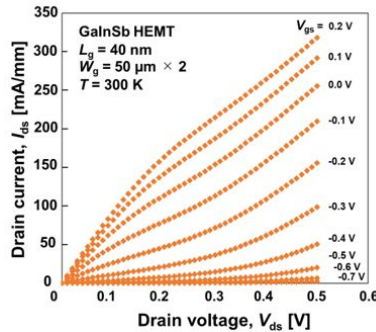


図 9 Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT の $I_{ds} - V_{ds}$ 特性 ($L_g = 40$ nm)

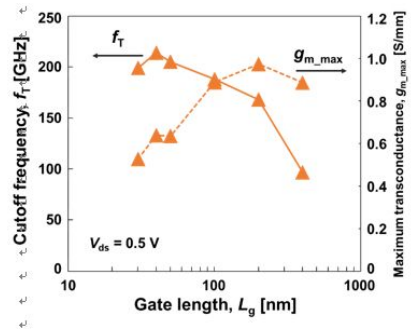


図 10 Ga_{0.22}In_{0.78}Sb HEMT の f_T と最大 g_m 、 $g_{m,max}$ の L_g 依存性

< 引用文献 >

- [1] K. Isono *et al.*, Proc. CSW2016, WeD1-5.
- [2] S. Fujikawa *et al.*, J. Cryst. Growth **425** (2015) 64.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

渡邊 一世、山下 良美、遠藤 聡、原 紳介、笠松 章史、吉田 智洋、井上 和孝、中田 健、眞壁 勇夫、磯野 恭佑、岡 直希、原田 義彬、竹内 淳、町田 龍人、藤代 博記、ミリ波・テラヘルツ波帯無線通信用電子デバイスの研究開発、電気学会電子デバイス研究会技術報告、査読無、EDD-18、2018、039-1 - 039-6

藤代 博記、磯野 恭佑、高橋 択斗、原田 義彬、岡 直希、竹内 淳、藤澤 由衣、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、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、117、2017、33 - 36

T.Takahashi、S.Hatsushiba、S.Fujikawa、H.I.Fujishiro、Comparative study on noise characteristics of As and Sb-based high electron mobility transistors、Physica Status Solodi A、査読有、214、2017、1600599、10.1002/pssa.201600599

〔学会発表〕(計 18 件)

M.Hiraoka、Y.Endoh、K.Osawa、N.Kishimoto、T.Hayashi、R.Machida、A.Endoh、H.I.Fujishiro、Improved Electron Transport Properties of $Ga_{1-x}In_xSb$ Quantum Well Channel Using Strained- $Al_{0.40}In_{0.60}Sb/Al_{1-y}In_ySb$ Stepped Buffer、Compound Semiconductor Week 2019 (CSW2019) (16th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2019) & 31th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2019))、2019

N.Kishimoto、Y.Endoh、T.Hayashi、M.Hiraoka、R.Machida、A.Endoh、H.I.Fujishiro、Effects of Channel Scaling on Electron Transport Properties of Sb-based HEMTs、Compound Semiconductor Week 2019 (CSW2019) (16th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2019) & 31th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2019))、2019

岸本 尚之、遠藤 勇輝、林 拓也、平岡 瑞穂、町田 龍人、遠藤 聡、藤代 博記、GaN/Sb チャンネル HEMT 構造のゲート・チャンネル間距離パラメータが電気的特性に与える影響、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、2019

K.Osawa、M.Hiraoka、T.Kishi、Y.Endoh、J.Takeuchi、R.Machida、H.I.Fujishiro、Electron Transport Properties of Novel $Ga_{1-x}In_xSb$ Quantum Well Structures with Strained $Al_{0.4}In_{0.6}Sb/Al_{0.3}In_{0.7}Sb$ Stepped Buffer、Compound Semiconductor Week 2018 (CSW2018) (15th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2018) & 30th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2018))、2018

T.Suzuki、Y.Fujisawa、S.Kawamura、K.Kumasaka、R.Machida、H.I.Fujishiro、Comprehensive Study on $Ga_xIn_{1-x}Sb$ High Electron Mobility Transistors Considering Interface Roughness Scattering、Compound Semiconductor Week 2018 (CSW2018) (15th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2018) & 30th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2018))、2018

渡邊 一世、山下 良美、遠藤 聡、原 紳介、笠松 章史、吉田 智洋、井上 和孝、中田 健、眞壁 勇夫、磯野 恭佑、岡 直希、原田 義彬、竹内 淳、町田 龍人、藤代 博記、ミリ波・テラヘルツ波帯無線通信用電子デバイスの研究開発、電気学会 電子デバイス研究会、招待講演、2018

藤代 博記、磯野 恭佑、高橋 択斗、原田 義彬、岡 直希、竹内 淳、藤澤 由衣、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、電子デバイス研究会 -ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム、招待講演、2017

遠藤 勇輝、原田 義彬、竹内 淳、岩木 拓也、町田 龍人、藤代 博記、LT-AlSb 成長が InSb HEMT 構造の電気的特性に与える影響、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017

N.Oka、K.Isono、Y.Harada、J.Takeuchi、T.Iwaki、Y.Endoh、I.Watanabe、Y.Yamashita、A.Endoh、S.Hara、R.Machida、A.Kasamatsu、H.I.Fujishiro、InSb-based HEMTs fabricated by using two-step-recessed gate procedure、12th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM2017)、2017

S.Fujikawa、T.Iwaki、Y.Harada、J.Takeuchi、Y.Endoh、I.Watanabe、Y.Yamashita、A.Endoh、S.Hara、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) (14th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2017) & 29th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2017))、2017

Y.Fujisawa、T.Takahashi、S.Kawamura、S.Fujikawa、H.I.Fujishiro、Monte Carlo Study on Electron Transport Properties of $Ga_xIn_{1-x}Sb$ HEMT Structures Considering Roughness Scattering、Compound Semiconductor Week 2017 (CSW2017) (14th International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2017) & 29th International Conference on Indium

Phosphide and Related Materials (IPRM2017)), 2017

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, 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, 2016

T.Takahashi, S.Hatsushiba, S.Fujikawa, H.I.Fujishiro, Comparative Study on Noise Characteristics of As and Sb-based HEMTs, International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2016), 2016

K.Isono, D.Tsuji, T.Taketsuru, S.Fujikawa, I.Watanabe, Y.Yamashita, A.Endoh, S.Hara, A.Kasamatsu, H.I.Fujishiro, InSb-based HEMT with Over 300 GHz- f_T using Evaporated SiO_x Film, International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2016), 2016

S.Fujikawa, K.Isono, Y.Harada, I.Watanabe, Y.Yamashita, A.Endoh, S.Hara, A.Kasamatsu, H.I.Fujishiro, InSb HEMT with over 300 GHz- f_T using stepped buffer layer for strain reduction, 35rd Electronic Materials Symposium (EMS35), 2016

J.Takeuchi, S.Fujikawa, Y.Harada, H.I.Fujishiro, Electron transport properties of novel InSb/GaInSb composite channel high electron mobility transistor structures, 35rd Electronic Materials Symposium (EMS35), 2016

S.Fujikawa, K.Isono, Y.Harada, I.Watanabe, Y.Yamashita, A.Endoh, S.Hara, A.Kasamatsu, H.I.Fujishiro, InSb-based HEMT with Over 300 GHz- f_T 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), 2016

S.Fujikawa, J.Takeuchi, Y.Harada, H.I.Fujishiro, Electron transport Properties of InSb/GaInSb Composite Channel, 19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2016), 2016

[その他]

https://www.tus.ac.jp/fac_grad/p/index.php?37a7

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：藤川 紗千恵

ローマ字氏名：Fujikawa Sachie

所属研究機関名：東京電機大学

部局名：工学部

職名：助教

研究者番号 (8桁)：90550327

研究分担者氏名：町田 龍人

ローマ字氏名：Machida Ryuto

所属研究機関名：東京理科大学

部局名：基礎工学部 電子応用工学科

職名：助教

研究者番号 (8桁)：50806560

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者 個人に帰属されます。